



TUGAS AKHIR - MO141326

***ANALISA ON-BOTTOM STABILITY* KABEL BAWAH LAUT (UMBILICAL)
BERDASARKAN DNV (DET NORSKE VERITAS)**

RIDWAN ABDULLAH BAHANAN

NRP. 4312100106

Dosen Pembimbing :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, ST. M.Sc

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2016



FINAL PROJECT - MO141326

***ON-BOTTOM STABILITY ANALYSIS OF SUBMARINE POWER CABLE
(UMBILICAL) BASED ON DNV (DET NORSKE VERITAS)***

RIDWAN ABDULLAH BAHANAN

NRP. 4312100106

Supervisors :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, ST. M.Sc

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

2016

**ANALISIS *ON-BOTTOM STABILITY* KABEL BAWAH LAUT
(*UMBILICAL*) BERDASARKAN DNV (DET NORSKE VERITAS)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ridwan Ahdullah Bahanan

NRP. 4312100106

Disetujui Oleh:

- 
1. Ir. Imam Rochani, M.Sc (Pembimbing 1)
 2. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi S.T., M.Sc (Pembimbing 2)
 3. Ir. I.J. Soedjono, M.Sc (Penguji 1)
 4. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

Surabaya, Juli 2016

ANALISIS ON-BOTTOM STABILITY KABEL BAWAH LAUT (UMBILICAL) BERDASARKAN DNV RP F 109

Nama Mahasiswa : Ridwan Abdullah Bahanan
NRP : 4312100106
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc.
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Stabilitas dalam kabel bawah laut atau Umbilical sangat diperlukan dalam dunia energi. Jika pada Umbilical ini tidak mengalami kestabilan pada saat operasi pengiriman energi, maka dampak buruk dapat terjadi pada lingkungan sekitar. Salah satunya jika Umbilical tidak mengalami ketidakstabilan maka bisa saja kabel tersebut mengalami crack. Fenomena ini disebabkan oleh beban lingkungan terutama gelombang dan arus laut. Pada tugas akhir ini, analisis *On-Bottom Stability* Kabel Bawah Laut (umbilical) Berdasarkan DNV (*Det Norske Veritas*) yang dilakukan terdiri analisis stabilitas, yaitu analisis Stabilitas Lateral dan analisis Stabilitas Vertikal. Berdasarkan analisis stabilitas, Kabel Bawah Laut (Umbilical) pada lokasi ini dikatakan stabil apabila nilai nya kurang dari atau sama dengan 1. Baik nilai Stabilitas Lateral maupun Stabilitas Vertikal nilainya harus kurang dari atau sama dengan 1. Berdasarkan hasil perhitungan *On-Bottom Stability DNV RP F 109*, yaitu tentang pembahasan masalah Stabilitas Lateral ataupun Stabilitas Vertikal didapatkan nilai dari Stabilitas Vertikal sebesar 0,17 dan nilai dari Stabilitas Lateral sebesar 0,2401 dimana nilai ini memenuhi untuk aturan *DNV RP F 109* yaitu tentang Stabilitas. Kemudian di sini dilakukan perbandingan nilai Stabilitas Lateral dengan menggunakan Software ANSYS CFD kemudian di dapatkan nilainya yaitu sebesar 0,239. Dimana , didapatkan error dengan perhitungan manual sebesar 0,458.

Kata kunci : *On-Bottom Stability*, *DNV RP F 109*, Stabilitas Lateral, Stabilitas Vertikal , ANSYS CFD

ON-BOTTOM STABILITY OF SUBMARINE POWER CABLE (UMBILICAL) BASED ON DNV (DET NORSKE VERITAS)

Student Name : Ridwan Abdullah Bahanan
Reg. : 4312100106
Department : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Supervisors : Ir. Imam Rochani, M.Sc.
Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Stability in the submarine cable or umbilical indispensable in the world of energy. If at this Umbilical did not experience stability at the time of energy delivery operations, the adverse effects can occur in the environment. One is if Umbilical did not experience instability it could have the cable run into crack. This phenomenon is caused by environmental loads, especially wave and ocean currents. In this thesis, the analysis of On-Bottom Stability Underwater Cable (umbilical) by DNV (Det Norske Veritas) carried consisted stability analysis, the analysis Stability Lateral and Vertical Stability analysis. Based on the analysis of stability, Underwater Cable (umbilical) at this location is said to be stable if its value is less than or equal to 1. Eventough value Stability Lateral and Vertical Stability value must be less than or equal to 1. Based on the results of the calculation *On-Bottom Stability DNV RP F 109*, which is about the discussion of the problem or the Lateral Stability Stability Vertical Vertical obtained values is **0.17** and the value of the Lateral Stability is **0.2401** where the value meets to rule *DNV RP F 109* that is about stability. Then here the comparison value Lateral stability using ANSYS CFD Software then get the value that is equal to **0,239**. Where, obtained by manual calculation error is **0,458**.

Key Word : *On-Bottom Stability, DNV RP F 109, Lateral Stability, Vertical Stability , ANSYS CFD*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul “**Analisa *On-Bottom Stability* Kabel Bawah Laut (Umbilical) Berdasarkan DNV (*Det Norske Veritas*)**”.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Penulis sangat mengharapkan agar karya tulis ini dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam lingkup rekayasa kelautan serta dapat dikembangkan kedalam penelitian yang lebih intensif dan ekstensif.

Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi materi maupun penyusunannya, Karena itu penulis sangat mengharapkan adanya saran atau masukan untuk perbaikan/penyusunan dalam pengembangan karya tulis ini di masa mendatang.

Surabaya, 09 Juli 2016

Ridwan Abdullah Bahanan

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua, adik, kakak dan nenek penulis untuk segala doa', kasih sayang, perhatian, dukungan, kepercayaan, kesabaran, dan cinta yang telah diberikan selama ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc. dan Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, ST. M.Sc atas bimbingan dan penulisan ilmu-ilmunya dalam pengerjaan tugas akhir ini. Kepada Bapak-Bapak dosen Jurusan Teknik Kelautan atas semua bimbingan dan ilmu yang diberikannya. Kepada seluruh staff tata usaha Jurusan Teknik Kelautan. Semoga bimbingan dan arahan yang Bapak-Ibu berikan dicatat sebagai amal ibadah oleh Allah SWT.

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, atas segala berkat dan karunia Nya saja saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik tanpa suatu halangan apapun yang, sehingga memberikan kesempatan kepada penulis untuk berbagi ilmu melalui tugas akhir ini.
2. Orang tua terbaik dan luar biasa, orang tua panutan penulis sepanjang masa, ayah saya Abdullah Bahanan, dan Ibu saya, Hanifah SE, serta kakak yaitu Salim Affan Abdullah Bahanan S.T, yang memberikan saya semangat terima kasih atas segala doa, kasih sayang, perhatian, dukungan, kepercayaan, kesabaran, dan cinta yang telah kalian berikan selama ini.

3. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc. dan Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, ST. M.Sc atas bimbingan dan penulisan ilmu-ilmunya dalam pengerjaan tugas akhir ini. Kepada Bapak-Bapak dosen Jurusan Teknik Kelautan atas semua bimbingan dan ilmu yang diberikannya.

4. Untuk teman-teman Teknik Kelautan Angkatan 2012, senior angkatan 2009-2011 penulis mengucapkan banyak terima kasih karena selain mendukung saya dalam pengerjaan ini, melainkan membimbing, memberi semangat juang kepada penulis dalam pengerjaan ini.

5. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada teman Elektro ITS Miftah Yama Fauzan karena telah membantu dalam memebrikan data Kabel Bawah Laut. Kemudian memberikan dukungan juga dalam penulisan tugas akhir ini

6. Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar Abdurrachman Bafagih karena telah memberikan semangat untuk mengerjakan tugas akhir ini, dan memberikan saran-saran yang bermanfaat dalam hal penulisan ini.

Surabaya, 09 Juli 2016

Ridwan Abdullah Bahanan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Teori Gelombang dan Beban Hidronamis	7
2.2.1 Gambaran Umum	7
2.2.2 Gelombang dan Arus	8
2.2.3 Beban Hidrodinamis dan Kondisi Tanah	11
2.3 On-Bottom Stability	20
2.3.1 Kombinasi Beban	21
2.3.2 Absolute Lateral Static Stability	22
2.3.3 Berat Terendam Pipa	24
2.3.4 Analisa Stabilitas Umbilical Dengan DNV RP F109	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Metode Penelitian	27
3.2 Penjelasan Diagram Alir	28

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Pengumupulan Data	31
4.2 Perhitungan Properti	33
4.3 Berat Terendam Pipa	34
4.4 Menentukan Gelombang, Arus, dan Tanah	34
4.5 Menentukan F_D, F_L, dan F_w	38
4.6 Menentukan Berat Terendam Minimum Umbilical (W_{s_req})	42
4.7 Analisa Stabilitas Vertika dan Analisa Stabilitas Lateral	42
4.8 Pemodelan Umbilical Dengan Menggunakan ANSYS CFD	43
4.9 Validasi Syarat Stabilitas ANSYS CFD Dengan DNV RP F 109	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51
BIODATA PENULIS	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penggunaan pipa bawah laut (Bai dan Bai, 2005)	8
Gambar 2.2: Grafik validitas teori gelombang (Mehaute, 1976)	9
Gambar 2.3: Keulegan-Carpenter number, K	10
Gambar 2.4: Definisi penetrasi	16
Gambar 2.5: Reduksi beban akibat penetrasi	16
Gambar 2.6: Parameter <i>trenching</i>	17
Gambar 2.7: Reduksi beban akibat <i>trenching</i>	17
Gambar 2.8: Tahanan pasif	19
Gambar 2.9: Gaya yang bekerja pada pipa	21
Gambar 2.10 potongan pipa melintang	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Terusan	28
Gambar 4.1 Spektrum Energi JONSWAP	37
Gambar 4.2 Wave Induced Velocity Spectrum	37
Gambar 4.3 Calibration Factor, F_w as Function of K and M	40
Gambar 4.4 nilai dari Faktor Kalibrasi (F_w)	41
Gambar 4.5 Model Umbilical	43
Gambar 4.6 Model Umbilical Dikenai Arus	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Kekasaran dasar laut (DnV RP F109, 2010)	11
Tabel 2.2 Rekomendasi Koefisien Hidrodinamis Desain Pipa (Mousselli, 1981)	14
Tabel 2.3: Faktor keamanan, badai musim dingin di North Sea	23
Tabel 2.4: Faktor keamanan, badai musim dingin di Gulf of Mexico	23
Tabel 2.5: Faktor keamanan, kondisi siklon di North Sea	23
Tabel 2.6: Faktor keamanan, kondisi siklon di Gulf of Mexico	23
Tabel 4.1 Ukuran Diameter Kabel bawah Laut (umbilical)	31
Tabel 4.2 Wave Environment	32
Tabel 4.3 Wind Condition	32
Tabel 4.4 Kondisi Arus	32
Tabel 4.5 Kondisi Pasang Surut	32
Tabel 4.6 Massa Pembanding	33
Tabel 4.7 Tabel Spectra	34
Tabel 4.8 Tabel Partikel Kecepatan Air	35
Tabel 4.9 kecepatan Arus	38
Tabel 4.10 Nilai Masing-Masing Gaya	39

DAFTAR NOTASI

A_p	Pipe outer area including coating $\pi \cdot D^2 / 4$.
A_w	Orbital semi-diameter of water particles . $K \cdot D / 2\pi$.
B	Pipe buoyancy per unit length . $\rho_w \cdot g \cdot \pi \cdot D^2 / 4$
d	Water depth. $\frac{s_u}{D \cdot \gamma_s}$
d_{50}	Mean grain size. $\frac{\gamma'_s}{g \cdot \rho_w}$
D	Pipe outer diameter including all coating.
g	Acceleration of gravity. Should be taken as 9.81m/s ² .
G	Transfer function.
G_c	Soil (clay) strength parameter .
G_s	Soil (sand) density parameter .
FY	Horizontal hydrodynamic (drag and inertia) load.
FZ	Vertical hydrodynamic (lift) load.
FR	Passive soil resistance, Ref. Eq. 3.23.
FC	Vertical contact force between pipe and soil, Ref. Eq. 3.24.
H_s	Significant wave height during a sea state.
H^*	Maximum wave height during a sea state.
K_b	Equivalent sand roughness parameter = $2.5 \cdot d_{50}$.
k	Wave number given by . $\frac{\omega^2}{g} = k \cdot \tanh k \cdot d$.
kT	Ratio between period of single design oscillation and design spectrum .
T^* / T_u	
kU	Ratio between oscillatory velocity amplitude of single design oscillation and design spectrum . U^* / U_s .
kV	Ratio between steady velocity component applied with single design oscillation and with design spectrum.
K	Significant Keulegan-Carpenter number . $U_s \cdot T_u / D$

K^* Keulegan-Carpenter number for single design oscillation .

L Significant weight parameter . $\frac{w_s}{0.5 \cdot \rho_w \cdot D \cdot U_s^2}$

L^* Weight parameter related to single design oscillation .

$$\frac{w_s}{0.5 \cdot \rho_w \cdot D \cdot (U^* + V^*)^2}$$

M Steady to oscillatory velocity ratio for design spectrum V/U_s .

M^* Steady to oscillatory velocity ratio for single design oscillation V^*/U^* .

M_n Spectral moment of order n .

N Spectral acceleration factor $\frac{U_s}{g \cdot T_u}$.

r_{tot} Load reduction factor.

r_{pen} Load reduction factor due to penetration.

r_{tr} Load reduction factor due to trench.

r_{perm} Load reduction factor due to a permeable seabed.

RD Reduction factor due to spectral directionality and spreading.

s Spectral spreading exponent.

sg Pipe specific density . $(w_s + b)/b$

su Un-drained clay shear strength.

ss Relative grain density.

$S_{\eta\eta}$ Wave spectral density

T_u Spectrally derived mean zero up-crossing period $2 \cdot \pi \cdot \sqrt{M_0 / M_2}$.

T_p Peak period for design spectrum.

T_h Reference period $\sqrt{d/g}$.

T^* Period associated with single design oscillation.

U_w Wave induced water particle velocity.

U_s Spectrally derived oscillatory velocity (significant amplitude) for design spectrum, perpendicular to pipeline.

$U_{s\theta}$	Spectrally derived oscillatory velocity (significant amplitude) for design spectrum, at an angle θ to the pipeline.
U^*	Oscillatory velocity amplitude for single design oscillation, perpendicular to pipeline.
V	Steady current velocity associated with design spectrum, perpendicular to pipeline.
V^*	Steady current velocity associated with design oscillation, perpendicular to pipeline.
$V(reynold)$	viskositas kinematis fluida, untuk air laut yaitu $1,2 \times 10^{-6}$
w_s	Pipe submerged weight per unit length.
y	Lateral pipe displacement
Y	Non-dimensional lateral pipe displacement y/D .
z	Elevation above sea bed.
z_r	Reference measurement height over sea bed.
z_0	Bottom roughness parameter.
z_p	Penetration depth.
z_t	Trench depth.
α	Generalised Phillips' constant.
μ	Coefficient of friction.
θ	Shields parameter
θ_c	Angle between current direction and pipe.
θ_w	Angle between wave heading and pipe
ρ_w	Mass density of water, for sea water normally equal to $1\,025\text{ kg/m}^3$.
γ_{sc}	Safety factor.
γ_w	Safety factor.
γ_s	Dry unit soil weight. Can be taken as $18\,000\text{ N/m}^3$ for clay.
γ'_s	Submerged unit soil weight. For sand normally in the range $7\,000$ (very loose) to $13\,500$ /m ³ (very dense).
φ_c	Angle of friction, cohesionless soil
τ	Number of oscillations in the design bottom velocity spectrum $= T / T_u$
τ_s	Shear stress applied from water flow to seabed, Ref. Eq. 4.3.

ω	Wave frequency = $2\pi/T$
ω_p	Peak wave frequency = $2\pi/Tp$
Ds	Diameter luar pipa baja
Di	Diameter dalam pipa baja
Dw	Diameter luar lapisan anti karat (corrosin wrap)
Dc	Diameter luar selimut beton (concrete coating)
ts	Tebal pipa baja
tc	Tebal selimut beton
Wst	Berat baja di udara
Wcorr	Berat lapisan anti karat di udara
Wc	Berat selimut beton di udara
Wcont	Berat konten dalam pipa
Ws	Berat terendam pipa, N/m
W_{s_r}	Berat Tenggelam minimum pipa
Fw	Faktor kalibrasi
μ	Faktor gesek tanah
FL	Gaya lift
FD	Gaya drag
FI	Gaya Inersia

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sejak tahun 1856, kabel bawah laut telah marak digunakan di benua Amerika, Eropa, Australia, bahkan juga Asia. Pada 1857, ada sebuah kabel bawah laut yang direntang di laut Atlantik sepanjang 2.967 kilometer. Hingga awal abad ke-20, tercatat ada sekitar 200 ribu mil kabel bawah laut di dunia. Sebagai teknologi modern, kabel bawah laut yang sebelumnya banyak dipakai untuk pengembangan telegrafi, serta komunikasi data dan internet. Kini kabel bawah laut mulai dikembangkan untuk pengembangan sistem kelistrikan. Beberapa negara menggunakan kabel bawah laut untuk melakukan ekspor daya listrik lintas negara.

Wilayah kerja yang terletak di laut lepas membuat perusahaan memerlukan banyak teknologi canggih untuk menjalankan kegiatan operasi Listrik dalam memfasilitasi penduduk sekitar. Fasilitas yang dimiliki PLN terdiri dari lebih dari beberapa jaringan kabel bawah laut sepanjang lebih dari 1000 kilometer.

Kabel bawah laut merupakan suatu teknologi transportasi yang digunakan untuk mentransfer energi listrik. Energi yang ditransfer kabel bawah laut dalam jumlah besar dan jarak yang jauh dilewatkan melalui jalur laut atau lepas pantai. Pipa bawah laut dapat bekerja 24 jam sehari, 265 hari dalam setahun selama umur pipa yang bisa mencapai 30 tahun atau bahkan lebih (Soegiono, 2007).

Pipa bawah laut telah menunjukkan kemampuan untuk bertahan pada berbagai macam kondisi lingkungan yang buruk (Guo *et al*, 2005). Namun, jika pipa bawah laut mengalami kegagalan akan menimbulkan kerugian ekonomi dan

lingkungan yang sangat besar, sehingga perancangannya memerlukan banyak analisis (Tian *et al.*, 2015).

Analisis *on-bottom stability* merupakan salah satu analisis utama pada perancangan pipa bawah laut. Analisis *on-bottom stability* dapat juga dilakukan pada analisa Umbilical karena bentuk dari Umbilical hampir menyerupai bentuk dari suatu pipa bawah laut. Analisis *on-bottom stability* bertujuan untuk menentukan berat minimum pipa agar dapat stabil di dasar laut (Bai dan Bai, 2005). Pipa bawah laut dikatakan stabil apabila gaya tahanan tanah lebih besar daripada gaya akibat beban hidronamis yang bekerja pada pipa (Teh *et al.*, 2006).

Pemerintah Indonesia telah mengatur dalam SKEP Mentamben No. 300K/38/M.PE/1997, yang isinya adalah pipa yang berada pada area shore approach dengan kedalaman perairan kurang dari 13 m LAT, harus dikubur pada trench dengan kedalaman minimum 2 m TOP (Top Of Pipe). Hal ini bertujuan untuk menambah stabilitas pipa serta melindungi pipa dari aktivitas lalu lintas

Saat ini, DNV RP F109 adalah code yang sering digunakan untuk analisis stabilitas pipa bawah laut. Sehingga, pada penelitian ini dilakukan analisa stabilitas Umbilical bawah laut dari kota Gresik menuju Gili Barat(Madura) dengan jarak sebesar 3,58 km dengan menggunakan DnV RP F109 revisi tahun 2010.

Pada kondisi sebenarnya di lapangan, topografi dasar laut tidak rata dan sering terjadi scouring yang menyebabkan free span pada kabel bawah laut. Sehingga perlu dilakukan analisis local buckling pada free span kabel bawah laut.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa berat yang dibutuhkan untuk umbilical sesuai desain kriteria, untuk memenuhi *on-bottom stability* ?
2. Berapa besar gaya eksternal yang bekerja pada Kabel Bawah Laut (umbilical) ?
3. Apakah pipa bawah laut memenuhi kriteria *on-bottom stability* DNV RP F109?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui berat Umbilical yang sesuai dengan desain kriteria untuk memenuhi *on-bottom stability*.
2. Untuk mengetahui besarnya gaya eksternal yang bekerja pada Umbilical bawah laut.
3. Mengetahui berat minimum pipa agar dapat stabil di dasar laut berdasarkan Dnv RP F109.

1.4 Manfaat

Setelah hasil dari analisis didapatkan, diharapkan dapat menjadi suatu acuan dalam mendesain Armor Umbilical dan menghitung berat minimum Umbilical agar dapat stabil di dasar laut. Hasil analisis juga dapat digunakan untuk analisis instalasi kabel bawah laut (umbilical).

1.5 Batasan Masalah

1. Umbilical bawah laut yang dianalisis adalah pada kondisi operasi.
2. Kondisi arus dalam keadaan *steady flow*.
3. Data lingkungan yang di gunakan yaitu area Madura
4. Variasi tanah yang di pakai untuk perhitungan yaitu berjenis *clay*
5. Perairan laut Madura pada analisis ini memiliki kedalaman 51 m, maka menggunakan perhitungan dengan kondisi diatas *seabed*, berdasarkan peraturan pemerintah.

6. Rute Umbilical diasumsikan lurus dan panjang umbilical sama dengan jarak antara pembangkit Gresik dan pembangkit Madura.
7. Tanpa perhitungan tegangan Kabel jika terdapat Scouring pada area kabel.

(Halaman Sengaja Dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Komunikasi kabel bawah laut pertama membawa data telegrafi. Generasi berikutnya membawa komunikasi telepon, dan kemudian data komunikasi. Seluruh kabel modern menggunakan teknologi optik fiber untuk membawa data digital, yang kemudian juga untuk membawa data telepon, internet, dan juga data pribadi. Operator telekomunikasi di Indonesia pada era 1990-an sudah menggunakan kabel laut untuk menghubungkan pulau-pulau di Nusantara. Penggunaan kabel laut serat optik memiliki banyak keuntungan dibandingkan menggunakan Digital Micro wave (Radio Terrestrial) yang memiliki keterbatasan pada bandwidth, sehingga trend kedepan penggunaan kabel serat optik akan semakin banyak baik di darat maupun di laut. Penggelaran kabel laut dilakukan oleh kapal kabel (Cables ship) yang dirancang khusus untuk menggelar kabel laut, Cables ship memiliki keistimewaan, karena tidak dapat menggelar pada lokasi air dangkal, sehingga untuk area air dangkal (Shore End) biasanya menggunakan Barge Cable, yang mampu sampai pada ke dalam air 1 meter. Namun kemungkinan terjadinya pergerakan stabilitas pada kabel itu sendiri dapat terjadi, yang mengakibatkan scouring kemudian efek dari scouring itu menyebabkan buckling pada kabel bawah laut itu sendiri. Jika kabel itu mengalami buckling kemudian kabel itu mengalami putus atau patah maka efek dari keputusan kabel bawah laut akan berakibat fatal pada lingkungan sekitar laut.

Analisis *on-bottom stability* merupakan analisis yang sangat kompleks dengan banyak bidang yang harus diintegrasikan, yaitu karakteristik tanah, *seabed liquefaction*, scouring, *sediment transport*, arus laut, gelombang laut. Namun, salah satu permasalahan utama pada pipa bawah laut adalah ketidakstabilan akibat gelombang laut (Herbich, 1985).

DNV (*Det Norske Veritas*) melakukan revisi terhadap standar code DNV RP E305 *On-bottom Stability Design Of Submarine Pipeline* 2007 untuk menyelaraskan pendekatan desain yang terdapat pada code DNV OS 101 *Submarine Pipeline System* 2000. Disamping itu metode desain dalam code DNV RP F109 ini lebih luas dalam pembahasan pada kondisi tanah lempung dan pasir. Beberapa revisi yang terdapat dalam code ini yaitu adanya reduksi pembebanan pada pipa akibat adanya interaksi antara pipa dengan tanah pada suatu sistem pipeline. Gaya-gaya hidrodinamika dapat tereduksi karena adanya permeabilitas seabed, penetrasi pipa ke seabed, dan Trenching (pembuatan parit)

Ghebregiorghis (2014) mengatakan jika pipa bawah laut terlalu ringan, maka pipa akan bergerak secara lateral dan vertikal karena gaya hidronamis dan gaya apung. Ketidakstabilan dapat menimbulkan regangan dan tegangan yang bersifat siklis pada pipa yang selanjutnya menyebabkan pipa mengalami kegagalan. Jika pipa bawah laut terlalu berat ataupun kabel bawah laut terlalu berat, maka proses instalasinya menjadi sulit dan mahal karena keterbatasan kapal instalasi dan *tensioner*.

Dalam beberapa dekade terakhir, seiring dengan pesatnya perkembangan industri minyak dan gas yang menggunakan pipa bawah laut sebagai alat untuk menyalurkan hidrokarbon, telah banyak peneliti yang fokus menyelesaikan permasalahan stabilitas pipa akibat gelombang laut (Brennodden *et al.*, 1989; Allen *et al.*, 1989; Foda *et al.*, 1990). Namun, permasalahan tidak sepenuhnya terselesaikan karena kompleksitas karakteristik tanah dan geometri pipa (Lawlor and Flynn, 1991).

Teori *Coulomb friction* menjelaskan interaksi pipa dan tanah untuk memastikan pipa tidak berpindah secara lateral. Sampai tahun 1970-an, teori *Coulomb friction* merupakan satu-satunya cara untuk memperkirakan tahanan tanah terhadap perpindahan pipa bawah laut akibat beban hidrodinamis. Pada teori ini, efek tahanan tanah karena

tumpukan tanah yang terbentuk pada proses perpindahan pipa diabaikan (Jeng *et al.*, 2013)

Sejak tahun 1980-an, banyak studi eksperimen mengenai stabilitas pipa bawah laut yang tidak tertanam. Wagner *et al.* (1987) mengembangkan teori *Coulomb friction* menjadi model empiris perilaku pipa terhadap tanah, dimana tahanan lateral total diasumsikan sebagai penjumlahan komponen *Coulomb friction* dan komponen *soil passive resistance*. Penelitian menunjukkan bahwa metode desain berdasarkan teori *Coulomb friction* terlalu konservatif. Pada studi eksperimen diatas, beban gelombang tidak dimodelkan dengan metode hidrodinamis tetapi digantikan dengan aktuator mekanis dan tidak diisi air ke dalam tangki.

DNV RP E305 (1988) diterbitkan untuk analisis *on-bottom stability* berdasarkan studi hidrodinamis di lapangan pada proyek *pipeline stability* yang dilakukan oleh SINTEF (1983-1987). Analisis pada *code* ini tidak memperhitungkan efek penetrasi pipa bawah laut ke dalam tanah, sedangkan perpindahan lateral maksimal yang diijinkan adalah 20 meter.

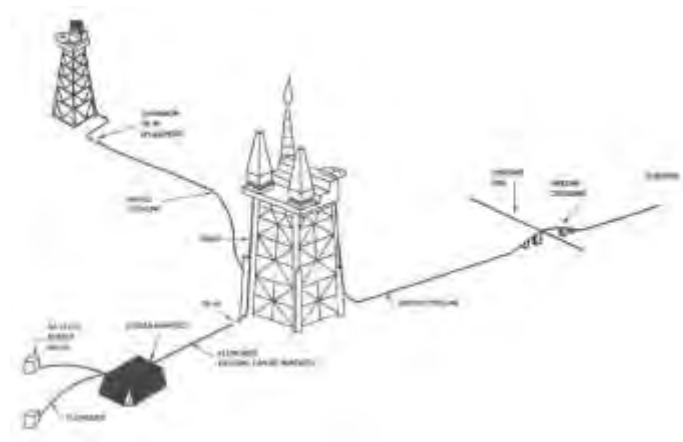
DNV RP F109 (2007) diterbitkan untuk menggantikan DNV RP E305. Pada *code* ini efek penetrasi pipa diperhitungkan, namun tidak bisa digunakan untuk pipa yang sepenuhnya tertanam. Perpindahan lateral maksimal yang diijinkan pada *code* ini adalah 10 kali diameter. Revisi terbaru DNV RP F109 diterbitkan oleh DNV pada tahun 2010.

Local buckling adalah kegagalan yang sering terjadi pada free span. Beberapa penelitian tentang local buckling pada free span telah dilakukan. Contohnya, imperfect pipeline on lateral buckling telah diteliti oleh Liu berdasarkan teori thermal buckling dan keandalan pipa bawah laut yang terkubur pada tanah lempung terhadap upheaval buckling.

2.2 Teori Gelombang dan Beban Hidronamis

2.2.1 Gambaran umum

Pipa bawah laut sudah digunakan secara luas untuk menyalurkan minyak dan gas dari sumur di lepas pantai ke fasilitas di darat. Pada banyak proyek pipa bawah laut, pipa yang tidak tertanam lebih dipilih dibandingkan dengan pipa yang tertanam secara keseluruhan untuk menghemat biaya dan efisiensi instalasi. Meskipun menguntungkan, pilihan ini menghadirkan beberapa tantangan desain. Penempatan pada kondisi laut dangkal membuat pipa rentan terhadap ketidakstabilan karena arus dan gelombang laut pada kondisi ekstrim (Jeng, 2013).



Gambar 2.1. Penggunaan pipa bawah laut (Bai dan Bai, 2005)

2.2.2 Gelombang dan Arus

a) Gelombang

Data gelombang berguna untuk prediksi gelombang ekstrim dengan metode statistik. Ketika data gelombang tidak mencukupi, desain gelombang menggunakan data angin. Model numerik gelombang dan arus menghasilkan akurasi yang lebih handal untuk prediksi gelombang ekstrim di masa yang akan datang daripada pengukuran langsung. Kegunaan data pengukuran adalah untuk validasi model numerik (Palmer et al., 2008)

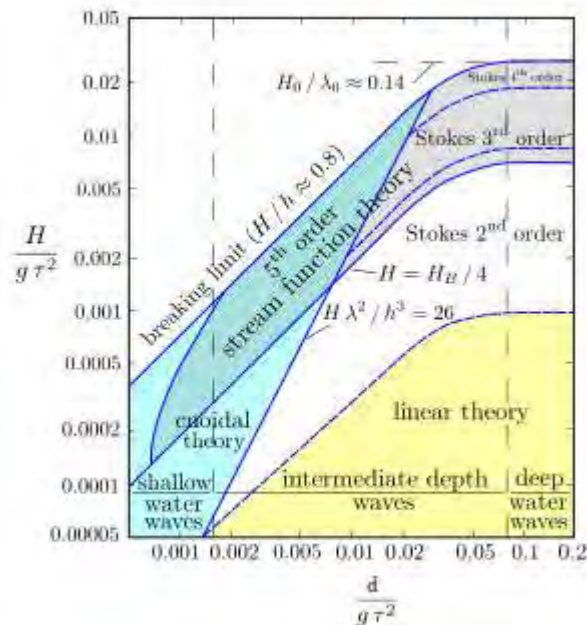
Teori Gelombang

Gelombang laut merupakan gelombang acak. Namun, sekelompok data gelombang acak dapat dibentuk menjadi gelombang reguler yang dijelaskan dengan teori deterministik.

Penentuan teori gelombang yang akan digunakan dapat dilakukan dengan menggunakan grafik validitas yang disebut "*Region of Validity of Wave Theories*" dengan menggunakan parameter-parameter gelombang yang ada seperti tinggi gelombang (H) , periode gelombang (T), dan kedalaman air (d). Dengan pendekatan formulasi matematika (Mehaute, 1976), sehingga rumusan sebagai berikut :

$$\frac{H}{gT^2} \text{ dan } \frac{h}{gT^2} \quad (2.1)$$

Hasil dari formulasi matematika tersebut kemudian disesuaikan dengan grafik Daerah Aplikasi Teori Gelombang seperti terlihat pada gambar 2.2, sehingga dapat diketahui teori gelombang yang digunakan.



Gambar 2.2: Grafik validitas teori gelombang (Mehaute, 1976)

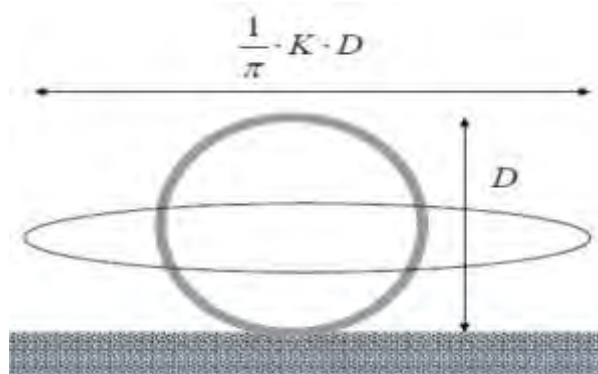
Teori gelombang reguler digolongkan menjadi:

- Teori gelombang linear (Airy)
- Teori gelombang Stoke's orde 2 sampai 5
- Teori gelombang Solitary
- Teori gelombang Cnoidal
- Teori gelombang *Stream Function*

Ukuran Gelombang

Ukuran gelombang dapat dijelaskan dengan Keulegan-Carpenter number, K . Partikel air bergerak dengan lintasan berbentuk elips, nilai K menunjukkan perbandingan besar elips dibandingkan dengan diameter pipa. Fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 2.3

$$K = \frac{U_s \cdot T_u}{D} \quad (2.2)$$



Gambar 2.3: Keulegan-Carpenter number, K

b) Arus Laut

Arus ditentukan dari analisis statistik data yang direkam dan simulasi model numerik. Arus *steady* pada pipa mempunyai keterkaitan dengan:

- Pasang surut
- Angin
- Gelombang akibat badai
- Densitas

Kecepatan arus rata-rata yang melewati pipa adalah:

$$V_c = V_c(z_r) \cdot \left(\frac{\left(1 + \frac{z_0}{D}\right) \ln\left(\frac{D}{z_0} + 1\right) - 1}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0} + 1\right)} \right) \cdot \sin \theta_c \quad (2.3)$$

Arah kecepatan arus diperhitungkan melalui θ_c yang merupakan sudut antara kecepatan arus dan sumbu pipa. Jika tidak ada informasi yang tersedia mengenai θ_c , maka arus diasumsikan bekerja tegak lurus dengan pipa.

Arus acuan, $V_c(z_r)$, diukur pada kedalaman yang variasi kecepatan arusnya kecil pada arah horizontal. Pada dasar laut yang relatif datar, tinggi acuan bisa lebih besar 1 meter, tergantung dari kekasaran dasar lautnya.

Kecepatan arus dapat tereduksi karena efek dasar laut dan arah arus. Kecepatan arus yang tereduksi dijelaskan dengan:

$$V(z) = V(z_r) \cdot \left(\frac{\ln(z+z_0)}{\ln(z_r+z_0)} \right) \cdot \sin \theta_c \quad (2.4)$$

Tabel 2.1: Kekasaran dasar laut (DnV RP F109, 2010)

<i>Seabed</i>	<i>Grain size d_{50} [mm]</i>	<i>Roughness z_0 [m]</i>
Silt and clay	0.0625	$\approx 5 \cdot 10^{-6}$
Fine sand	0.25	$\approx 1 \cdot 10^{-5}$
Medium sand	0.5	$\approx 4 \cdot 10^{-5}$
Coarse sand	1.0	$\approx 1 \cdot 10^{-4}$
Gravel	4.0	$\approx 3 \cdot 10^{-4}$
Pebble	25	$\approx 2 \cdot 10^{-3}$
Cobble	125	$\approx 1 \cdot 10^{-2}$
Boulder	500	$\approx 4 \cdot 10^{-2}$

Untuk tanah lempung, parameter kekasaran tanah lanau dapat digunakan.

2.2.3 Beban Hidrodinamis dan Kondisi Tanah

Analisis *on-bottom stability* dilakukan untuk memastikan stabilitas pipa, ketika terkena gaya gelombang dan arus, serta terkena beban internal dan

eksternal lainnya (misalnya: beban *buckling* pada bagian yang melengkung).

Pipa bawah laut terkena gaya hidrodinamis dari gelombang dan arus seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.9. Stabilitas hidrodinamis menggunakan persamaan Morison, yang mengaitkan gaya angkat, gaya inersia dan gaya *drag* akibat kecepatan dan percepatan partikel air. Pada kenyataannya variasi gaya sangat kompleks, ekspresi analitis sederhana dapat menjelaskan variasi gaya dengan metode pendekatan (Braestrup et al., 2005).

a. Beban dan koefisien beban

Gaya *drag*

Gaya *drag* dipengaruhi oleh gelombang dan arus laut. Gaya *drag* menghasilkan tekanan yang tinggi di depan pipa dan tekanan yang rendah di belakang pipa. Namun, gelombang juga menimbulkan pusaran air di belakang pipa yang mempengaruhi besarnya gaya *drag*.

Gaya *Drag*

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D \cdot C_D \cdot |(U_s \cdot \cos \theta + U_c)(U_s \cdot \cos \theta + U_c)| \quad (2.5)$$

Gaya inersia

Gelombang menghasilkan beban siklis melalui partikel air. Beban siklis tersebut akan mengurangi atau menambah kecepatan air. Pipa akan memberikan gaya untuk menolak perubahan kecepatan partikel air yang bekerja pada pipa.

Gaya Inersia

$$F_I = (\pi \cdot D^2)/4 \cdot \rho_w \cdot C_M \cdot A_s \cdot \sin \theta \quad (2.6)$$

Percepatan partikel air:

$$A_S = \frac{(2\pi \cdot U_s)}{T_u} \quad (2.7)$$

Gaya angkat

Gaya angkat muncul karena ada aliran yang bekerja pada pipa.

Keberadaan dasar laut di bawah pipa mengakibatkan perbedaan bentuk aliran air di atas dan di bawah pipa. Hal tersebut membuat aliran menjadi lambat/tidak ada di bagian bawah pipa (tekanan tinggi) dan aliran di atas pipa semakin cepat (tekanan rendah). Perbedaan tekanan di bagian bawah dan atas pipa akan menyebabkan pipa terangkat.

Beban hidrodinamis dari gelombang dan arus laut dijelaskan dengan persamaan Morison berikut:

Gaya Angkat

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D \cdot C_L \cdot (U_s \cdot \cos \theta + U_c)^2 \quad (2.8)$$

Sudut fase antara kecepatan dan percepatan partikel air maksimum adalah 90 derajat. Gaya *drag* dan angkat maksimum terjadi pada saat gaya inersia sama dengan nol dan gaya inersia maksimum terjadi ketika gaya angkat minimum.

Koefisien drag, inersia dan angkat ditentukan dengan cara empiris, tergantung dari variasi aliran. Koefisien *drag* dan angkat dipengaruhi oleh:

- *Reynold's number*
- Kekasaran pipa
- *Keulegan-Carpenter number* gelombang
- Penanaman pipa di tanah
- Karakteristik dasar laut.

Satu hal yang sangat penting dalam menghitung gaya hidrodinamis adalah menentukan koefisien masing-masing gaya tersebut, yaitu koefisien *drag* (C_D), koefisien inersia (C_M), koefisien *lift* (C_L). Penentuan ketiga koefisien ini tergantung pada bilangan-bilangan tertentu, yaitu (Germanischer LIyod 1995):

Bilangan Reynold (*Reynolds Number*) Re dirumuskan

$$Re = \frac{U_{\infty} D}{\nu} \quad (2.9)$$

Tabel 2.2 Rekomendasi Koefisien Hidrodinamis Desain Pipa (Mousselli, 1981)

Re	C_D	C_L	C_M
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.2	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$5.0 \times 10^5 < Re$	0.7	0.7	1.5

Eksperimen menunjukkan bahwa perhitungan gaya menggunakan persamaan Morison kecepatan dan koefisien yang tidak bervariasi terhadap waktu terbukti tidak akurat untuk perhitungan perpindahan lateral, yang menghasilkan estimasi terlalu tinggi untuk perpindahan lateral. Hal ini karena pembentukan pusaran air yang mendorong pipa ke arah datangnya gelombang sebanyak setengah siklus dari total siklus gelombang (Hale et al., 1989). Penggunaan koefisien yang tergantung waktu dan kecepatan di dekat pipa menghasilkan peningkatan perhitungan gaya yang signifikan pada beban gelombang osilasi.

Sehingga, digunakan koefisien reduksi beban untuk perhitungan gaya hidrodinamis.

b. Reduksi Beban akibat Interaksi Pipa-Tanah

Beban hidrodinamis dapat tereduksi karena:

- *Permeable seabed* ($r_{perm,i}$)
- Penetrasi pipa ke dalam tanah ($r_{pen,i}$)
- *Trenching* ($r_{trench,i}$)

Reduksi beban total adalah:

$$R_{tot,i} = r_{perm,i} \cdot r_{pen,i} \cdot r_{trench,i} \quad (2.10)$$

Simbol “_i” yang bernilai y untuk beban horizontal dan z untuk beban vertikal.

Reduksi beban akibat *permeable seabed*

Permeable seabed mengakibatkan aliran dapat melalui bagian bawah pipa, sehingga mengurangi beban vertikal atau gaya angkat. Jika beban hidrodinamis vertikal yang digunakan dalam analisis adalah berdasarkan koefisien beban yang diturunkan dari asumsi *non-permeable seabed*, reduksi beban berikut ini dapat digunakan:

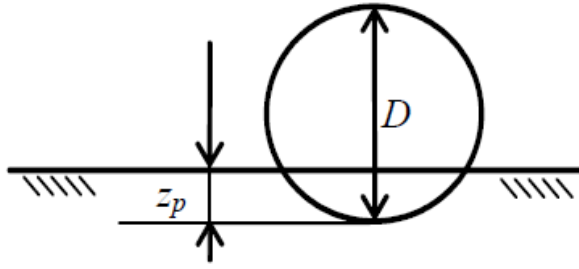
$$R_{perm,z} = 0,7 \quad (2.11)$$

Reduksi beban akibat penetrasi

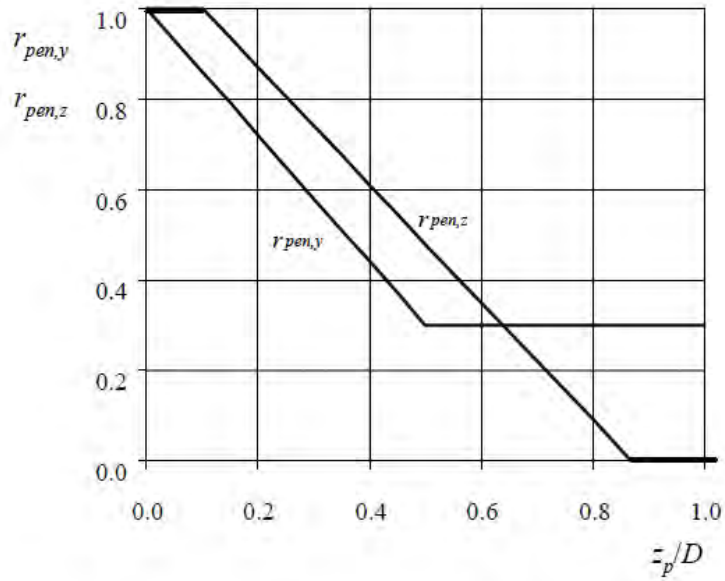
Faktor reduksi beban akibat penetrasi pada arah horizontal dan vertikal adalah:

$$r_{pen,y} = 1,0 - 1,4 \cdot \frac{z_p}{D} \geq 0,3 \quad (2.12)$$

$$r_{pen,z} = 1,0 - 1,3 \cdot \left(\frac{z_p}{D} - 0,1 \right) \geq 0,0 \quad (2.13)$$



Gambar 2.4: Definisi penetrasi



Gambar 2.5: Reduksi beban akibat penetrasi

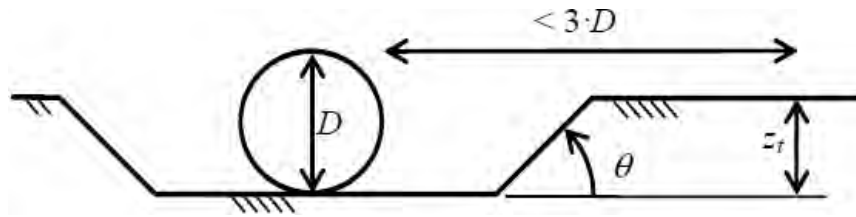
Reduksi beban akibat *trenching*

Faktor reduksi beban akibat *trenching* pada arah horizontal dan vertikal adalah:

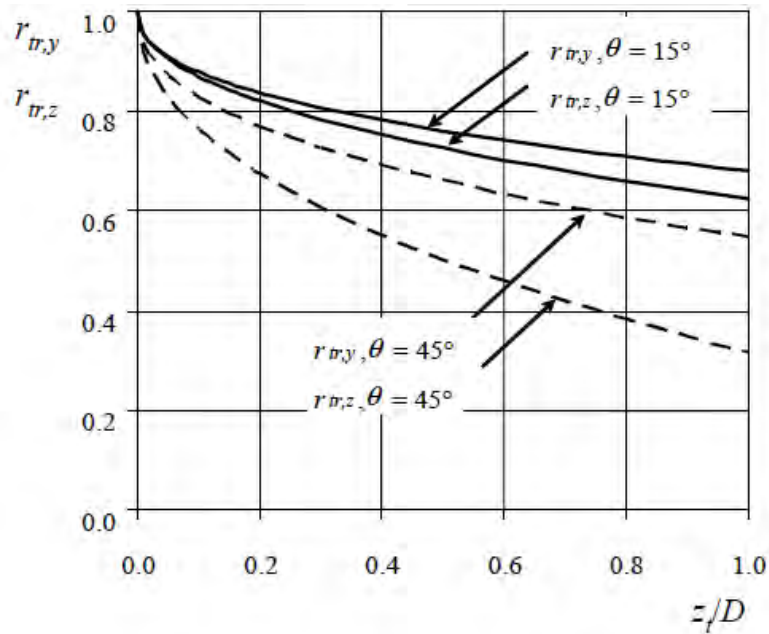
$$r_{tr,y} = 1,0 - 0,18 \cdot (\theta - 5)^{0,25} \cdot \left(\frac{z_t}{D}\right)^{0,42}, \quad 5 \leq \theta \leq 45 \quad (2.14)$$

$$r_{tr,z} = 1,0 - 0,14 \cdot (\theta - 5)^{0,43} \cdot \left(\frac{z_t}{D}\right)^{0,46}, \quad 5 \leq \theta \leq 45 \quad (2.15)$$

Kedalaman *trenching* dibuat relatif terhadap dasar laut dengan lebar tidak melebihi 3 kali diameter dari pipa.



Gambar 2.6: Parameter *trenching*



Gambar 2.7: Reduksi beban akibat *trenching*

c. Tahanan Tanah

Untuk menghindari perpindahan lateral yang tidak diijinkan, tanah harus memiliki tahanan yang cukup untuk mengimbangi beban hidrodinamis. Sampai tahun 1970-an teori *Coulomb friction* digunakan untuk menghitung tahanan tanah pada pipa yang terkena beban hidrodinamis. Namun, percobaan Lyonsetal (1973) menunjukkan bahwa teori *Coulomb friction* tidak sesuai untuk menjelaskan kompleksitas interaksi pipa dengan tanah.

Verley dan Sotberg (1992) mengembangkan pemodelan interaksi pipa dengan tanah. Hasilnya, tahanan tanah merupakan penjumlahan dari *Coulomb friction* dan tahanan pasif tanah.

Tahanan horizontal tanah adalah:

$$R = (W_s - F_L) \cdot \mu$$

(2.

16)

Koefisien gesekan, μ , biasanya menggunakan 0,6 untuk pasir, 0,2 untuk lempung dan 0,6 untuk batu.

Pasir didefinisikan sebagai tanah yang *permeable* dan tidak kohesif.

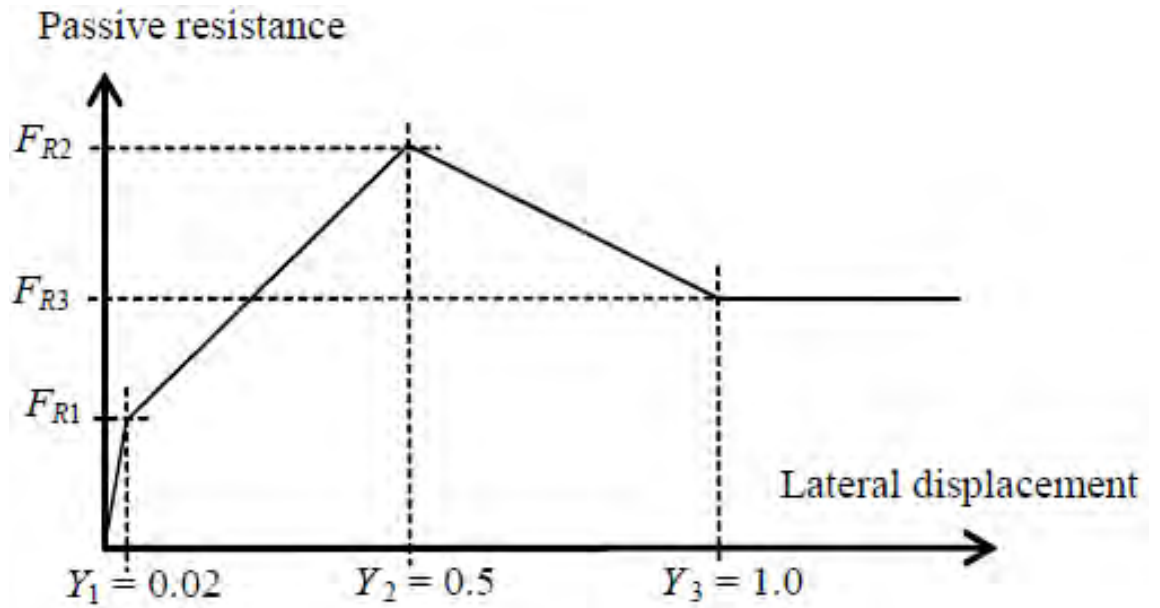
Lempung didefinisikan sebagai tanah yang tidak *permeable* dan kkoheisif.

Batu didefinisikan sebagai bebatuan yang 50 persen diameternya lebih besar dari 50 mm.

Tahanan pasif tanah terdiri dari 4 daerah yang berbeda:

1. Daerah elastis dimana perpindahan lateralnya biasanya kurang dari 2 persen diameter pipa.
2. Daerah dimana perpindahan yang signifikan terjadi, sampai dengan setengah diameter pipa pada tanah berpasir dan lempung yang menyebabkan meningkatnya penetrasi dan tahanan pasif tanah.
3. Daerah setelah *break-out* dimana penetrasi dan tahanan pasif tanah akan berkurang.
4. Ketika perpindahan melebihi 1 kali diameter, tahanan pasif dan penetrasi diasumsikan konstan.

Tahanan pasif tanah pada dasar laut yang berbatu diabaikan.



Gambar 2.8: Tahanan pasif

Tahanan pasif untuk tanah berpasir adalah:

$$\frac{F_R}{F_C} = \begin{cases} (5,0 \cdot \kappa_s - 0,15 \cdot \kappa_s^2) \cdot \left(\frac{z_p}{D}\right)^{1,25} & \text{jika } \kappa_s \leq 26,7 \\ \kappa_s \cdot \left(\frac{z_p}{D}\right)^{1,25} & \text{jika } \kappa_s > 26,7 \end{cases} \quad (2.17)$$

dimana,

$$\kappa_s = \frac{\gamma'_s \cdot D^2}{w_s - F_z} = \frac{\gamma'_s \cdot D^2}{F_C}, \quad F_C = w_s - F_z \quad (2.18)$$

Tahanan pasif untuk tanah lempung adalah:

$$\frac{F_R}{F_C} = \frac{4,1 \cdot \kappa_c}{G_C^{0,39}} \cdot \left(\frac{z_p}{D}\right)^{1,31} \quad (2.19)$$

$$G_C = \frac{s_u}{D \cdot \gamma_s} \quad \text{dan} \quad \kappa_c = \frac{s_u \cdot D}{w_s - F_z} = \frac{s_u \cdot D}{F_C} \quad (2.20)$$

Penetrasi total merupakan penjumlahan dari penetrasi awal dan penetrasi akibat perpindahan pipa:

$$z_p = z_{pi} + z_{pm} \quad (2.21)$$

Penetrasi awal pada tanah berpasir adalah:

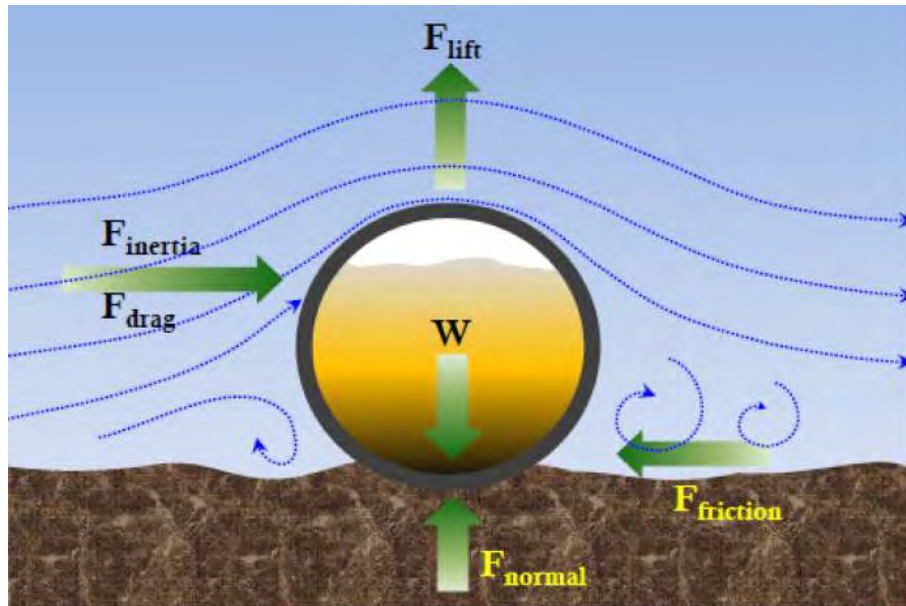
$$\frac{z_{pi}}{D} = 0,037 \cdot \kappa_s^{-0,67} \quad (2.22)$$

Penetrasi awal pada tanah lempung adalah:

$$\frac{z_{pi}}{D} = 0,0071 \cdot \left(\frac{G_c^{0,3}}{\kappa_c} \right)^{3,2} + 0,062 \cdot \left(\frac{G_c^{0,3}}{\kappa_c} \right)^{0,7} \quad (2.23)$$

2.3 On-bottom stability

Pipa bawah laut dikatakan stabil jika mempunyai berat yang cukup, sehingga tahanan lateral tanah mencukupi untuk menghindari pipa bergerak secara lateral. Meningkatkan ketebalan baja pada pipa untuk meningkatkan berat pipa tidak akan ekonomis, sehingga *concrete* digunakan meningkatkan berat pipa untuk mencapai kestabilan (Tornes et al., 2009)



Gambar 2.9: Gaya yang bekerja pada pipa

2.3.1 Kombinasi Beban

Kondisi beban harus merefleksikan kemungkinan respon paling ekstrim yang terjadi pada pipa selama periode desain. Sebelum digunakan untuk menyalurkan minyak dan gas, pipa bawah laut perlu diinstal di lokasi operasi. Kombinasi beban dibagi menjadi dua kondisi, yaitu sementara dan permanen.

a. Kondisi permanen (operasi)

Untuk kondisi operasi permanen dan kondisi sementara yang melebihi 12 bulan, digunakan periode ulang 100 tahun. Pendekatan kondisi permanen menggunakan beban paling ekstrim diantara dua kondisi berikut:

- Periode ulang 100 tahun gelombang dikombinasikan dengan periode ulang 10 tahun arus.
- Periode ulang 10 tahun gelombang dikombinasikan dengan periode ulang 100 tahun arus.

b. Kondisi sementara (instalasi)

Kondisi sementara adalah kondisi pada saat fase instalasi, ketika pipa kosong. Kondisi sementara dapat dibagi menjadi dua:

- Untuk durasi kurang dari 12 bulan dan lebih dari 3 hari, digunakan periode ulang 10 tahun untuk kondisi aktual lingkungan. Pendekatan untuk kondisi ini adalah menggunakan kondisi paling ekstrim diantara dua kondisi berikut:
 - Periode ulang 10 tahun gelombang dikombinasikan dengan periode ulang 1 tahun arus.
 - Periode ulang 1 tahun gelombang dikombinasikan dengan periode ulang 10 tahun arus.
- Untuk durasi kurang dari 3 hari, kondisi beban ekstrim ditentukan berdasarkan data harian cuaca terpercaya.

Untuk kondisi sementara yang melebihi 12 bulan, digunakan kondisi permanen (operasi)

2.3.2 Absolute Lateral Static Stability

Metode *Absolute Stability* memberikan syarat absolut statis untuk perpindahan lateral pipa didasar laut berdasarkan penyamaan gaya yang memastikan gaya tahanan pipa mencukupi untuk bertahan terhadap beban hidrodinamis maksimum.

a. Faktor Keamanan

Faktor keamanan γ_{SC} yang digunakan untuk stabilitas absolut pada kondisi musim dingin terdaftar pada Tabel 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.3: Faktor keamanan, badai musim dingin di North Sea

	<i>Low</i>	<i>Normal</i>	<i>High</i>
Sand and rock	0.98	1.32	1.67
Clay	1.00	1.40	1.83

Tabel 2.4: Faktor keamanan, badai musim dingin di Gulf of Mexico dan Southern Ocean

	<i>Low</i>	<i>Normal</i>	<i>High</i>
Sand and rock	0.95	1.41	1.99
Clay	0.97	1.50	2.16

Faktor keamanan γ_{SC} yang digunakan untuk stabilitas absolut pada kondisi siklon terdaftar pada Tabel 2.6 dan 2.7.

Tabel 2.5: Faktor keamanan, kondisi siklon di North Sea

	<i>Low</i>	<i>Normal</i>	<i>High</i>
Sand and rock	0.95	1.50	2.16
Clay	0.95	1.56	2.31

Tabel 2.6: Faktor keamanan, kondisi siklon di Gulf of Mexico

	<i>Low</i>	<i>Normal</i>	<i>High</i>
Sand and rock	0.95	1.64	2.46
Clay	0.93	1.64	2.54

b. Desain Kriteria

Desain kriteria metode *absolute stability* adalah:

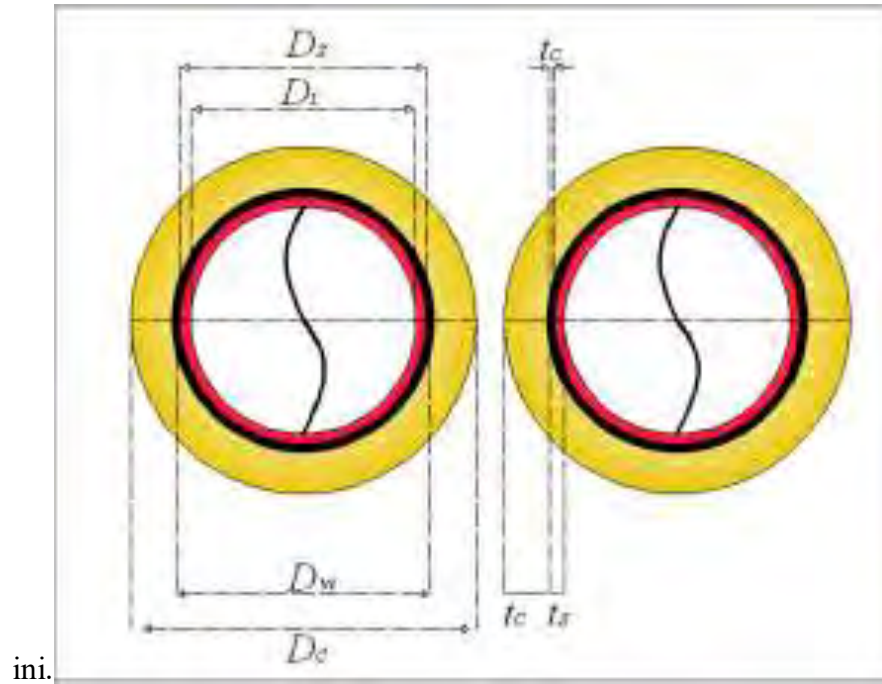
$$\gamma_{SC} \cdot \frac{F_Y^* + \mu \cdot F_Z^*}{\mu \cdot w_s + F_R} \leq 1,0 \quad (2.24)$$

dan

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{F_z^*}{w_s} \leq 1,0 \quad (2.25)$$

2.3.3 Berat Terendam Pipa

Potongan melintang sebuah pipa ditunjukkan pada Gambar 2.27 berikut



ini.

Gambar 2.10 potongan pipa melintang

Berikut ini rumus perhitungan berat terendam pipa :

Berat Terendam Pipa :

$$W_s = W_{st} + W_{corr} + W_c + W_{cont} - B \quad (2.26)$$

Berat Terendam Minimum Pipa :

$$W_{s,req} = \left[\frac{(F_D + F_I) + \mu \cdot F_L}{\mu} \right] \cdot F_w \quad (2.27)$$

Dengan,

D_s : Diameter luar pipa baja

Di : Diameter dalam pipa baja

Dw : Diameter luar lapisan anti karat (corrosin wrap)

Dc : Diameter luar selimut beton (concrete coating)

ts : Tebal pipa baja

tc : Tebal selimut beton

Wst : Berat baja di udara

Wcorr : Berat lapisan anti karat di udara

Wc : Berat selimut beton di udara

Wcont: Berat konten dalam pipa

B : Gaya apung

Ws : Berat terendam pipa

W_{s_r} : Berat Tenggelam minimum pipa

Fw : Faktor kalibrasi

μ : Faktor gesek tanah

FL : Gaya lift,

FD : Gaya drag,

FI : Gaya Inersia

2.3.4 Analisa Stabilitas Umbilical Dengan DNV RP F109

Untuk menganalisa stabilitas pipa dasar laut sangat beragam dan kompleks, salah satu metode analisis yang digunakan dalam DNV RP F109 adalah stabilitas lateral statik secara menyeluruh. Persamaan umum dari metode ini adalah :

Stabilitas Lateral

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{(F_D + F_I) + \mu F_L}{\mu W_S + F_R} \leq 1.00 \quad (2.28)$$

Stabilitas Vertikal

$$\gamma_{\pi} \cdot \frac{b}{w_z + b} = \frac{\gamma_{\pi}}{s_g} \leq 1.00 \quad (2.29)$$

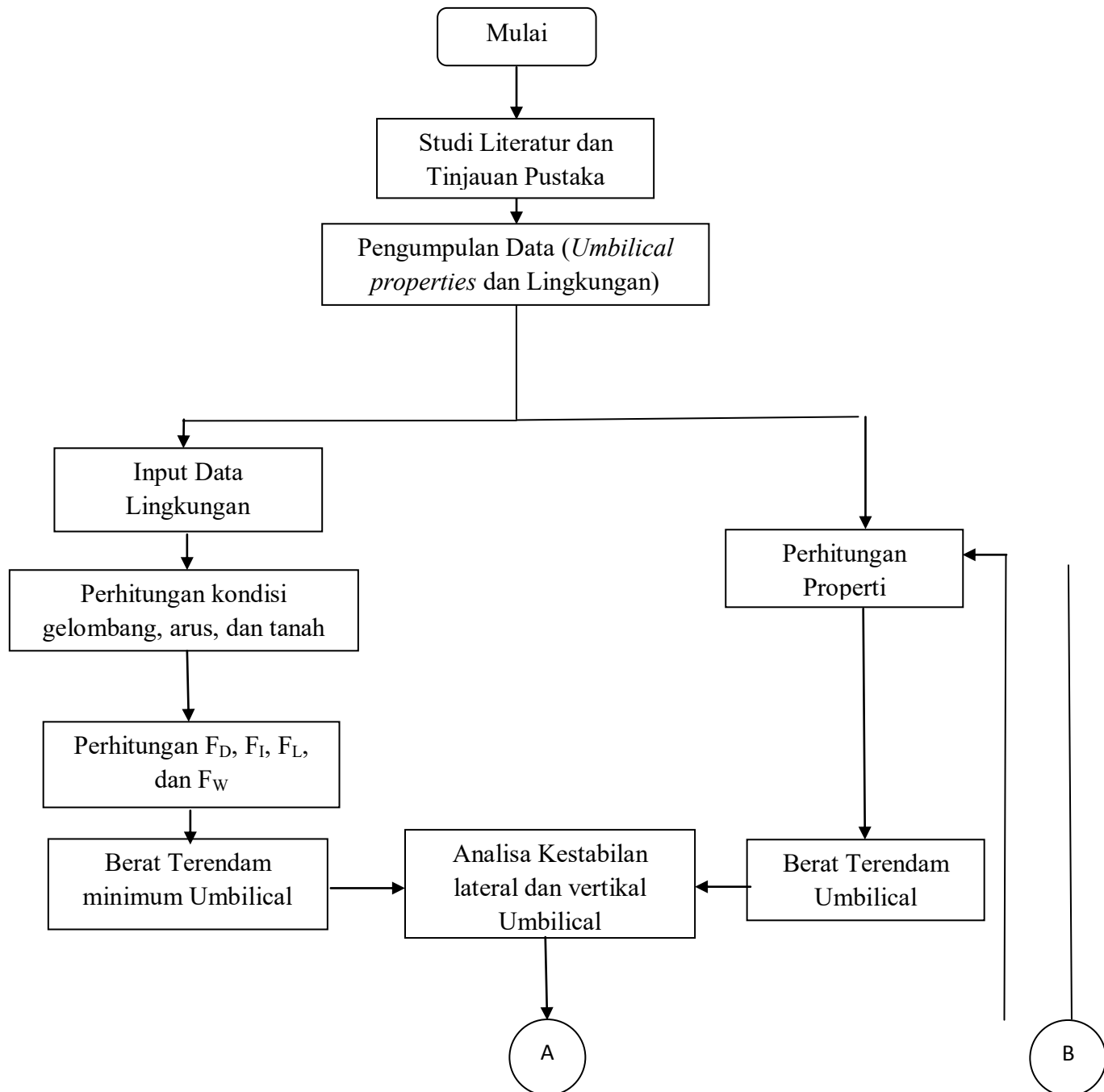
Umbilical dikatakan stabil apabila memenuhi stabilitas arah vertikal maupun lateral

BAB III

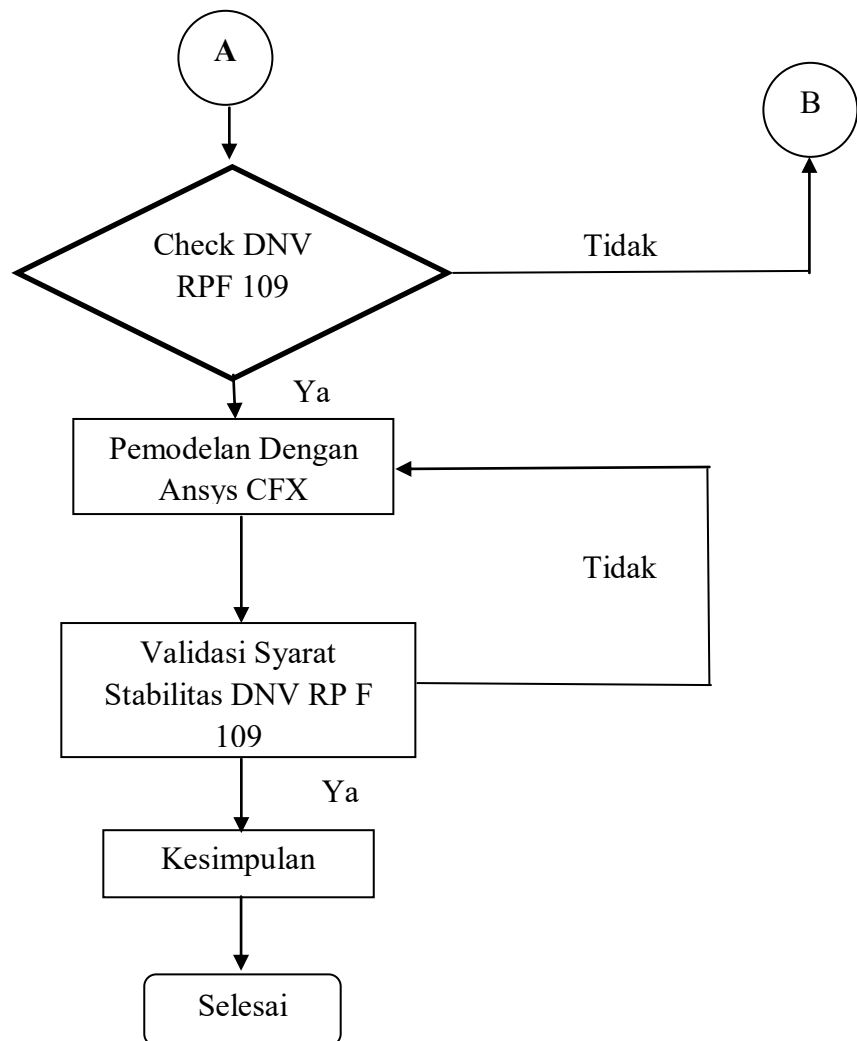
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Flowchart Analisis On-bottom Stability Umbilical



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Terusan

3.2 Penjelasan Diagram Alir

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari dasar teori, studi pustaka dari penelitian terbaru, peraturan/regulasi yang relevan dan dibutuhkan selama pengerjaan Tugas Akhir ini. Studi literature dapat diperoleh dari buku, tugas akhir, jurnal, Code/Standard, peraturan/regulasi baik nasional maupun internasional.

2. Pengumpula Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data Umbilical yang meliputi desain Umbilical dari Diameter Wall Thickness yang didapat dan data lingkungan yang meliputi arus, gelombang dan tanah.

3. Perhitungan Properti Umbilical

Perhitungan Properti Umbilical meliputi perhitungan diameter luar umbilical, berat umbilical pada saat berada di udara, besar gaya apung.

4. Perhitungan Berat Terendam Umbilical

Setelah data parameter umbilical telah dimasukkan dan dihitung properti umbilical, kemudian akan dicari nilai berat terendam Umbilical.

5. Input Data Lingkungan

Data lingkungan yang akan dimasukkan berupa tinggi gelombang, ketinggian air laut, kecepatan arus, dan percepatan gravitasi.

6. Perhitungan Kondisi Gelombang, Arus, dan Tanah

Pada perhitungan ini dilakukan perhitungan gelombang kemudian partikel kecepatan arus kemudian perhitungan soil resistance (ketahanan tanah) terhadap umbilical

7. Perhitungan F_D , F_I , F_L , dan F_W

Menghitung gaya drag (F_D), gaya inersia(F_I), gaya angkat (F_L) dan faktor Kalibrasi (F_W). Untuk mendapatkan faktor kalibrasi yaitu dengan menggunakan Keulegan Carpenter.

8. Perhitungan Berat Terendam Minimum Umbilical (W_{S_req})

Mencari berat terendam minimum umbilical di cari untuk memenuhi berat minimum umbilical yang di butuhkan berdasarkan faktor lingkungan.

9. Analisa Kestabilan Lateral dan Vertikal

Untuk menganalisis stabilitas Umbilical sangat beragam, salah satunya Umbilical ini dapat digunakan metode DNV RP F109 yaitu tentang *Stabilitas Lateral Statik Secara Menyeluruh*.

10. Pemodelan Umbilical dengan Ansys CFX

Hasil dari simulasi pemodelan diantaranya adalah distribusi tekanan yang terjadi pada umbilical akibat dari gaya eksternal yang mengenai area umbilical.

11. Kesimpulan

Dari seluruh rangkaian analisa dapat ditarik kesimpulan sehingga diperoleh informasi yang dapat bermanfaat serta pemberian saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan yaitu meliputi data dari umbilical dan data lingkungan. Berikut dari data-data yang telah di dapat :

a. Data Umbilical

Tabel 4.1 Ukuran Diameter Kabel bawah Laut (umbilical)

	Material	Dimension (mm)	
		Thickness	Diameter
1. Conductor	Annealed Copper (300 mm ² Area)	-	20,8
2. Conductor Screen	Carbon Paper	0,26	-
3. Insulation	Paper	10,40	42,1
4. Oil Duct	Galvanized Steel Tape	-	19,0
5. Core Screen		0,36	43,5
6. Filler Impregnant	Kraft Pulp	-	-
7. Binder	Mineral Oil (2,6 cp at 85°C)	-	-
8. Metal Sheath	Copper Woven Fabric Tape	0,30	95,0
9. Bedding Under Reinforcement	Lead Alloy	3,90	102,8
10. Reinforcement	Rubber Coated Fabric Tape	0,25 x 2	103,8
11. Anti Corrosion Sheath			
12. Protective Tape	Stainless Steel Tape	0,25 x 2	104,8
13. Armour Bedding	Extrude PE	4,00	112,8
	Copper Tape	0,10 x 2	113,2
	Rubber Coated Fabric Tape	0,50 x 2	115,2
14. Armour			
15. Outer Covering	Galvanized Steel Wire		
	(6.00 mm diameter)	-	144,0
	Polypropylene Yarn	3,5	151,0
<u>Control Wire</u>			
16. Conductor			
17. Insulation			
18. Filler			
19. Binder	Annealed Copper	-	1,8
	Paper Tape	0,70	3,6
	Kraft Pulp	-	7,2
	Paper Tape	0,4	8,1

b. Data Lingkungan

1. Wave Environment

Tabel 4.2

Wave

	100-year Extreme Condition
H_{\max} (meter)	9,34
H_{\max} (feet)	30,64
T_p (sec)	14,90

Environment

2. Wind Condition

Tabel 4.3

Wind
Condition

	100-year Extreme Condition		
	(m/s)	(ft/s)	(knots)
$U_{1 \text{ min}, 10 \text{ m}}$	46,39	152,20	90,06

3. Current Condition

Tabel

4.4

Kondisi

Arus

	100-year Extreme Condition		
	(m/s)	(ft/s)	(knots)
MSL	1,03	3,38	2,00
Mid Depth (28,5 m – 93,5 ft)	0,91	2,99	1,77
Mudline	0,49	1,61	0,95

4. Tidal Condition

Tabel 4.5 Kondisi Pasang Surut

	100-year Extreme Condition	
	(m)	(ft)
LAT (MSL)	-1,38	-4,53
HAT (MSL)	1,29	4,23

MHWS (MSL)	1,05	3,44
Storm Surge	0,13	0,43

5. Soil

Very Soft Soil, di samakan seperti perairan Gulf of Mexico

4.2 Perhitungan Properti

Pada perhitungan properti Umbilical meliputi perhitungan diameter luar umbilical, berat umbilical pada saat berada di udara, dan besar gaya apung (bouyancy). Untuk perhitungan diameter luar umbilical dapat kita jumlahkan dari keseluruhan material-material yang terdapat pada data, kemudian di dapat diameter terluar umbilical yaitu sebesar **151 mm**.

Kemudian berat dari umbilical pada saat di udara dapat di cari dengan membandingkan berat dari power cable milik perusahaan Total E&P. Dengan menunjukkan tabel 4.6 merupakan data berat dari perusahaan Total E&P.

Tabel 4.6 Massa Pembanding

Parameter	Value
Mass	21,6
Subm Weight	10,6
Out diameter	127

Hal ini dilakukan karena kurang lengkap nya data yang di dapat. Kemudian setelah membanding kan berat dari power cable milik perusahaan Total E&P di dapatkan Weight per unit length dari Umbilical ini yaitu **2468,16234 N/m**.

Setalah mendapatkan berat Umbilical di udara kemudian menghitunga besar gaya apung yaitu dengan menggunakan rumus berikut:

$$B = \rho_w \cdot g \cdot \pi \frac{D^2}{4} \quad (4.1)$$

Setelah menghitung dengan menggunakan rumu 4.1 kemudian didapatkan besar gaya apung sebesar **179,793 N**.

4.3 Berat Terendam Pipa

Berat terendam Pipa atau weight submerge dicari yaitu dengan mengurangi beban umbilical terhadap besar gaya apung, yaitu sebesar **2.288,36904 N/m**.

4.4 Menentukan Gelombang, Arus, dan Tanah

Menurut DNV RP F109, untuk mencari submerged weight requirement dan transformasi kecepatan gelombang menjadi kecepatan partikel gelombang disekitar dasar laut dapat menggunakan spektra JONSWAP. Berikut perhitungan SPEKTRA dapat dilihat pada tabel 4.7

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha \cdot g^2 \cdot \omega^{-5} \cdot \exp\left(-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^4\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0.5\left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \cdot \omega_p}\right)^2\right)} \quad (4.2)$$

ω	σ	$S(\omega)$	ω	σ	$S(\omega)$
		$\gamma=1,15$			$\gamma=1,15$
0,00	0,07	0,000	1,10	0,09	0,499
0,05	0,07	0,000	1,15	0,09	0,401
0,10	0,07	0,000	1,20	0,09	0,325
0,15	0,07	0,000	1,25	0,09	0,266
0,20	0,07	0,000	1,30	0,09	0,219
0,25	0,07	0,035	1,35	0,09	0,182
0,30	0,07	2,605	1,40	0,09	0,152
0,35	0,07	11,423	1,45	0,09	0,128
0,40	0,07	19,260	1,50	0,09	0,108
0,45	0,09	19,031	1,55	0,09	0,092
0,50	0,09	14,281	1,60	0,09	0,078
0,55	0,09	10,656	1,65	0,09	0,067
0,60	0,09	7,825	1,70	0,09	0,058
0,65	0,09	5,700	1,75	0,09	0,050
0,70	0,09	4,165	1,80	0,09	0,043
0,75	0,09	3,069	1,85	0,09	0,038
0,80	0,09	2,286	1,90	0,09	0,033
0,85	0,09	1,724	1,95	0,09	0,029
0,90	0,09	1,315	2,00	0,09	0,026
0,95	0,09	1,016			
1,00	0,09	0,793			
1,05	0,09	0,626			

Tabel 4.7 Tabel Spectra

Setelah mendapatkan nilai dari spektra gelombang JONSWAP yang di tampilkan pada tabel diatas maka untuk mencari transformasi kecepatan gelombang menjadi kecepatan partikel gelombang disekitar dasar laut dengan menggunakan perumusan sebagai berikut

$$S_{(w)}(\omega) = G^2(\omega) \cdot S_{\eta\eta}(\omega) \quad (4.3)$$

Kemudian hasil perhitugnan transformasi ditampilkan dalam tabel 4.8

Tabel 4.8 Tabel Partikel Kecepatan Air

$\gamma=1,15$									
w	S(w)	G(w)	G^2(w)	Suu	FS	m ₀	m ₁	m ₂	m ₄
0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,000	0,0321	0,0010	0,0000	4	0,000	0,000	0,000	0,000

0,10	0,000	0,0642	0,0041	0,0000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,000	0,0963	0,0093	0,0000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,20	0,000	0,1284	0,0165	0,0000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,035	0,1605	0,0257	0,0009	4	0,004	0,001	0,000	0,000
0,30	2,605	0,1926	0,0371	0,0966	2	0,193	0,058	0,017	0,002
0,35	11,423	0,2247	0,0505	0,5765	4	2,306	0,807	0,282	0,035
0,40	19,260	0,2567	0,0659	1,2695	2	2,539	1,016	0,406	0,065
0,45	19,031	0,2888	0,0834	1,5877	4	6,351	2,858	1,286	0,260
0,50	14,281	0,3209	0,1030	1,4709	2	2,942	1,471	0,735	0,184
0,55	10,656	0,3530	0,1246	1,3279	4	5,312	2,921	1,607	0,486
0,60	7,825	0,3851	0,1483	1,1605	2	2,321	1,393	0,836	0,301
0,65	5,700	0,4172	0,1741	0,9921	4	3,969	2,580	1,677	0,708
0,70	4,165	0,4493	0,2019	0,8407	2	1,681	1,177	0,824	0,404
0,75	3,069	0,4814	0,2317	0,7111	4	2,845	2,133	1,600	0,900
0,80	2,286	0,5135	0,2637	0,6028	2	1,206	0,965	0,772	0,494
0,85	1,724	0,5456	0,2977	0,5131	4	2,052	1,745	1,483	1,071
0,90	1,315	0,5777	0,3337	0,4390	2	0,878	0,790	0,711	0,576
0,95	1,016	0,6098	0,3718	0,3776	4	1,511	1,435	1,363	1,230
1,00	0,793	0,6419	0,4120	0,3267	2	0,653	0,653	0,653	0,653
1,05	0,626	0,6740	0,4542	0,2842	4	1,137	1,194	1,253	1,382
1,10	0,499	0,7060	0,4985	0,2485	2	0,497	0,547	0,601	0,728
1,15	0,401	0,7381	0,5448	0,2185	4	0,874	1,005	1,156	1,528
1,20	0,325	0,7702	0,5933	0,1930	2	0,386	0,463	0,556	0,800
1,25	0,266	0,8023	0,6437	0,1712	4	0,685	0,856	1,070	1,672
1,30	0,219	0,8344	0,6962	0,1526	2	0,305	0,397	0,516	0,871
1,35	0,182	0,8665	0,7508	0,1365	4	0,546	0,737	0,995	1,814
1,40	0,152	0,8986	0,8075	0,1226	2	0,245	0,343	0,481	0,942
1,45	0,128	0,9307	0,8662	0,1105	4	0,442	0,641	0,929	1,954
1,50	0,108	0,9628	0,9270	0,0999	2	0,200	0,300	0,450	1,012
1,55	0,092	0,9949	0,9898	0,0906	4	0,363	0,562	0,871	2,093
1,60	0,078	1,0270	1,0547	0,0825	2	0,165	0,264	0,422	1,081
1,65	0,067	1,0591	1,1216	0,0753	4	0,301	0,497	0,819	2,231
1,70	0,058	1,0912	1,1906	0,0688	2	0,138	0,234	0,398	1,150
1,75	0,050	1,1233	1,2617	0,0631	4	0,253	0,442	0,774	2,369
1,80	0,043	1,1553	1,3348	0,0581	2	0,116	0,209	0,376	1,219
1,85	0,038	1,1874	1,4100	0,0535	4	0,214	0,396	0,732	2,506
1,90	0,033	1,2195	1,4873	0,0494	2	0,099	0,188	0,357	1,288
1,95	0,029	1,2516	1,5666	0,0457	4	0,183	0,357	0,695	2,644
2,00	0,026	1,2837	1,6479	0,0424	1	0,042	0,085	0,170	0,678
Jumlah						43,951	31,717	27,874	37,330

Nilai dari parameter lain setelah terjadi transformasi gelombang menjadi partikel gelombang yaitu:

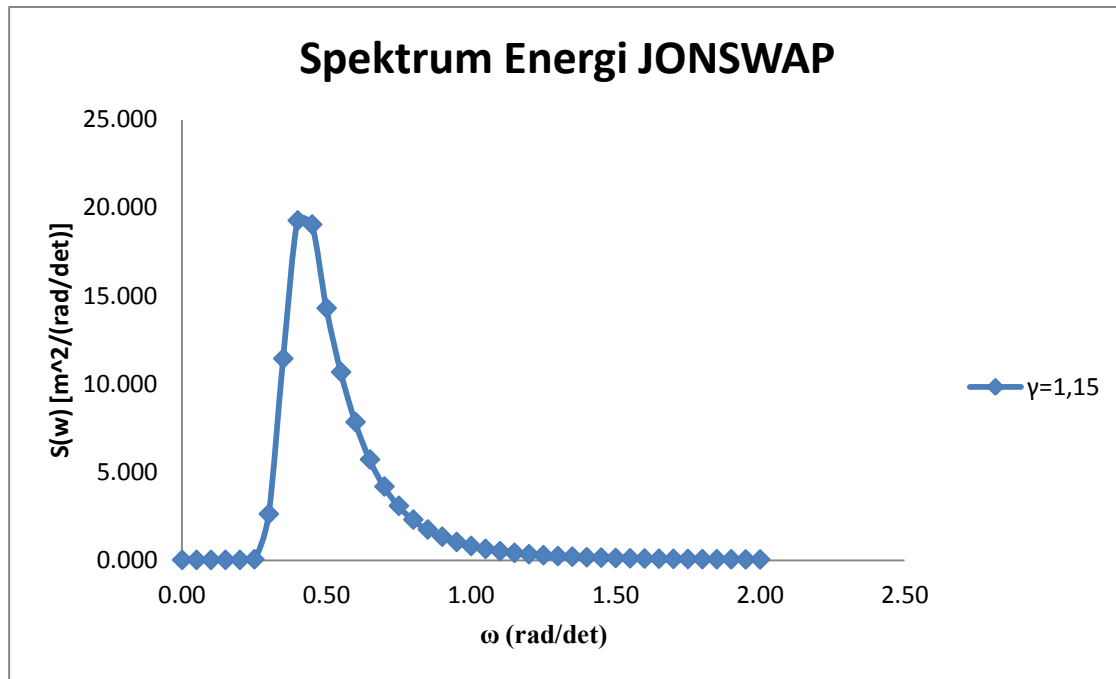
$$M_0 = 1/3 \times 0,05 \times 43,951 = 0,7325$$

$$M_1 = 1/3 \times 0,05 \times 31,717 = 0,5286$$

$$M_2 = 1/3 \times 0,05 \times 27,874 = 0,4646$$

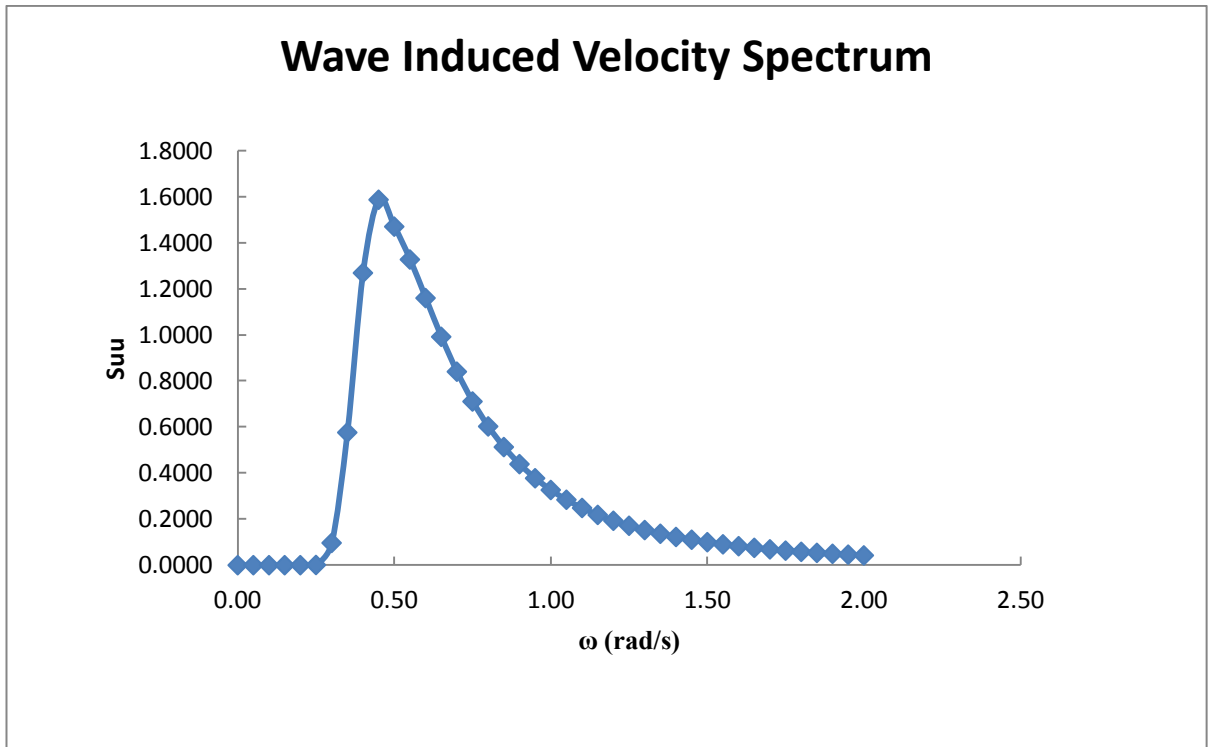
$$M_4 = 1/3 \times 0,05 \times 37,330 = 0,6222$$

Berikut Grafik dari grafik tabel 4.7 dan tabel 4.8 ditampilkan menjadi



suatu grafik, maka berikut gambar dari grafik tabel 4.7 dan tabel 4.8.

Gambar 4.1 Spektrum Energi JONSWAP



Gambar 4.2 Wave Induced Velocity Spectrum

Kemudian mencari Kecepatan Arus dengan menggunakan rumus berikut:

$$V(z) = V(z_r) \cdot \frac{\ln(z + z_0) - \ln z_0}{\ln(z_r + z_0) - \ln z_0} \cdot \sin \theta_z \quad (4.4)$$

Dengan menggunakan rumus 4.3 dan dengan diketahui Z_0 yaitu bernilai 5×10^{-6} karena pada tanah silt and clay, kemudian di dapat kan nilai kecepatan arus dengan berbagai varian sudut yaitu sebagai berikut.

Tabel 4.9 kecepatan

arus

θ	$V(m/s)$
0	0,000
30	0,408
60	0,706
90	0,815
120	0,706
150	0,408
180	0,000

Data tanah sangat penting untuk memperkirakan on bottom stability. Jika ternyata tidak terdapat data tanah, dapat digunakan beberapa code yang telah mengatur data pipe-soil lateral friction coefficients. Seperti DnV-RP-F109, On Bottom Stability of Offshore Pipeline Systems yang menetapkan koefisien friksi lateral pipa-tanah sebesar **0,2 (jenis tanah clay)**. Maka dengan menggunakan rumusan pada DnV-RP-F109 sebagai berikut.

$$\frac{F_R}{F_C} = \frac{4.1 \cdot \kappa_c}{G_c^{0.39}} \left(\frac{z_f}{D} \right)^{1.31}$$

$$G_c = \frac{s_u}{D \cdot \gamma_s} \quad \text{and} \quad \kappa_c = \frac{s_u \cdot D}{w_z - F_Z} = \frac{s_u \cdot D}{F_C}$$
(4.5)

Maka didapatkan nilai F_R sebesar **733,7926**.

4.5 Menentukan F_D , F_I , F_L , dan F_W

Sebelum mendapat berat pipa terendam terlebih dahulu menghitung gaya gaya

yang bekerja dari kecepatan arus yang sudah dikalkulasi. Gaya gaya tersebut

meliputi gaya drag (F_D), gaya inersia (F_I), gaya angkat (F_L). Untuk mendapatkan gaya-gaya tersebut, terlebih dulu untuk mencari koefisien dari masing-masing gaya yaitu meliputi C_d , C_m dan C_l . Koefisien-koefisien dari masing-masing gaya diperoleh dari grafik hubungan antara Re (*Reynold Number*) dengan koefisien masing-masing gaya. Re dapat diperoleh dengan persamaan 2.9 , sehingga harga koefisien drag dapat diperoleh dengan menggunakan tabel 2.3 sebagai berikut

Re	C _D	C _L	C _M
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.2	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$5.0 \times 10^5 < Re$	0.7	0.7	1.5

Didapatkan nilai Re yaitu **102.076** yaitu $1 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$

Kemudian didapatkan nilai:

$$C_D = 1,18975$$

$$C_L = 0,996$$

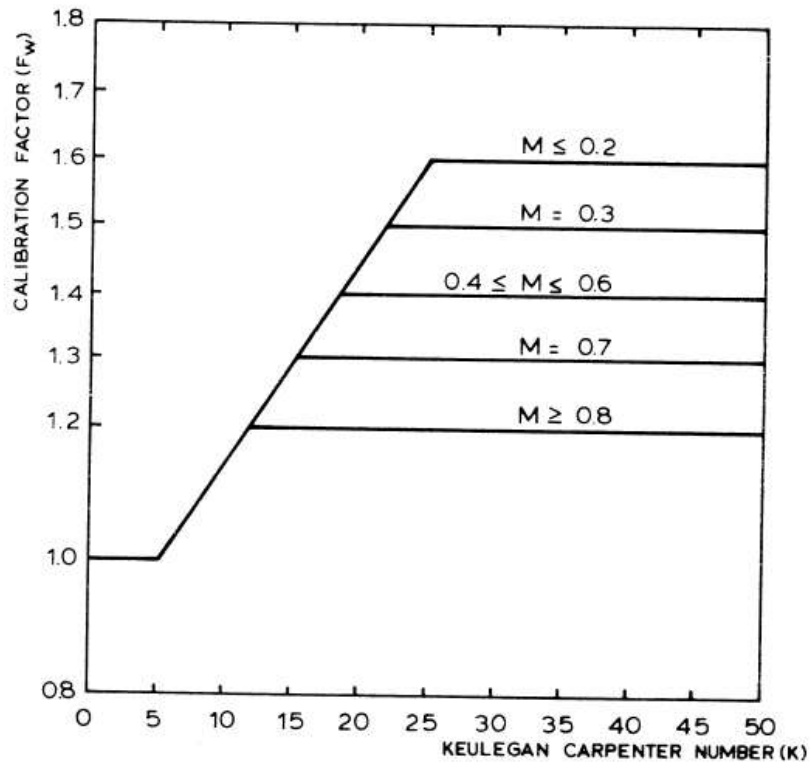
$$C_M = 2$$

Setelah nilai koefisien didapatkan, kemudian gaya drag (F_D), gaya Inersia (F_I), dan gaya angkat (F_L) dapat dicari. Sehingga gaya-gaya tersebut didapatkan nilai dengan tabel berikut:

Tabel 4.10 Nilai Masing-Masing Gaya

F_D	60,5874
F_I	50,016
F_L	50,72079

Kemudian untuk Faktor Kalibrasi (F_w) dapat dicari dengan menggunakan tabel keulegan Carpenter yang tertera pada gambar berikut:



Gambar 4.3 Calibration Factor, F_w as Function of K and M

Signifikan Keulegan Carpenter dengan menggunakan persamaan 2.2 yaitu

$$K = \frac{U_s T_u}{D}$$

$$U_s = 2\sqrt{M_0} ; T_u = 2\pi \sqrt{\frac{M_0}{M_2}} ; D = \text{Diameter (m)}$$

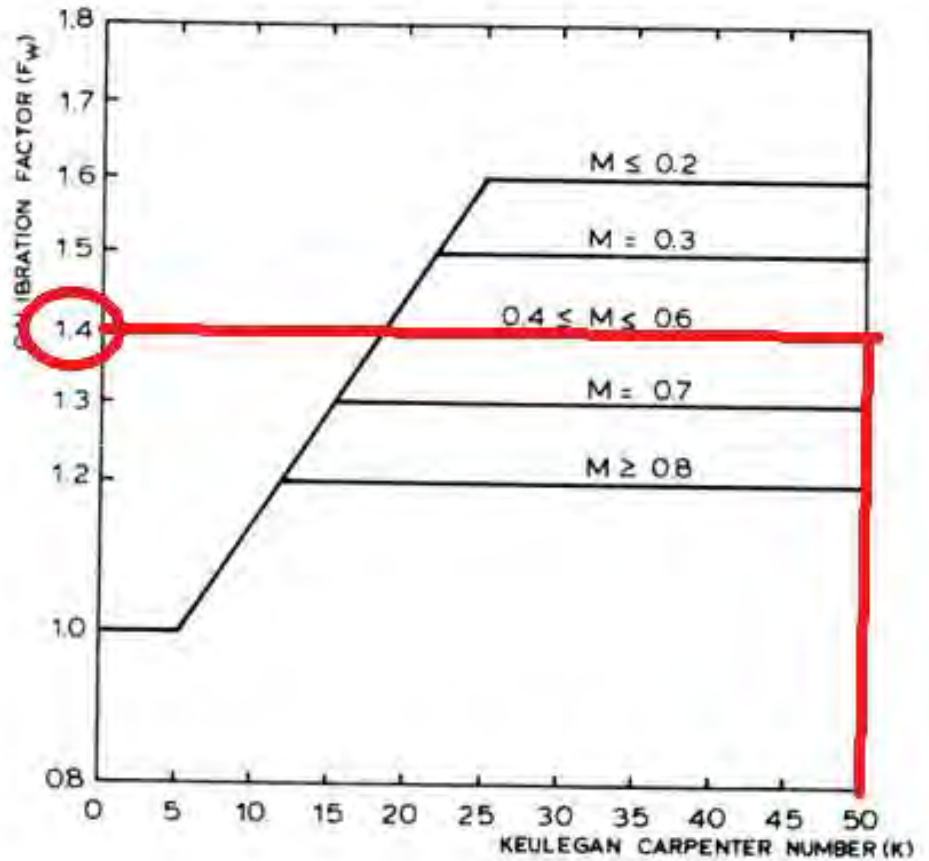
(4.6)

Setelah menggunakan rumusan diatas kemudian didapatkan nilai Keulegan Carpenter (K) sebesar **89,394**.

Steady to Oscilatory vellocity ratio untuk desain spektrum dengan menggunakan persamaan berikut:

$$M = \frac{V}{U_S} \quad (4.7)$$

Maka didapatkan nilai M sebesar **0,47**.



Gambar 4.4 nilai dari Faktor Kalibrasi (F_w)

Kemudian didapatkan nilai dari faktor kalibrasi (F_w) sebesar **1,4**.

4.6 Menentukan Berat Terendam Minimum Umbilical (W_{s_req})

Dengan menggunakan persamaan 2.27 dengan rumusan sebagai berikut:

$$W_{s_req} = \left[\frac{(F_D + F_L) + \mu \cdot F_L}{\mu} \right] \cdot F_w \quad (4.8)$$

Dengan diketahui sebelumnya yaitu nilai F_D , F_I , F_L , dan F_W . kemudian untuk friksion koefisien di ketahui sebesar 0,2 pada tanah clay. Nilai 0,2 didapatkan berdasarkan codes DNV RP F109. Maka didapatkan nilai terendam minimum Umbilical yaitu sebesar **845,233 N/m**.

4.7 Analisa Stabilitas Vertika dan Analisa Stabilitas Lateral

Analisa Stabilitas Vertikal

Untuk pengecekan stabilitas vertikal menggunakan rumusan yang di ketahui dari DNV RP F 109 yaitu dengan rumusan sebagai berikut:

$$\gamma_w \cdot \frac{b}{w_s + b} = \frac{\gamma_w}{s_g} \leq 1.00 \quad (4.9)$$

Dengan nilai safety factor sebesar 1,1 maka hasil dari analisa menunjukkan bahwa **0,17 < 1**. Maka menurut Codes umbilical ini dikatakan memenuhi codes dikarenakan hasil kurang dari 1.

Analisa Stabilitas Lateral

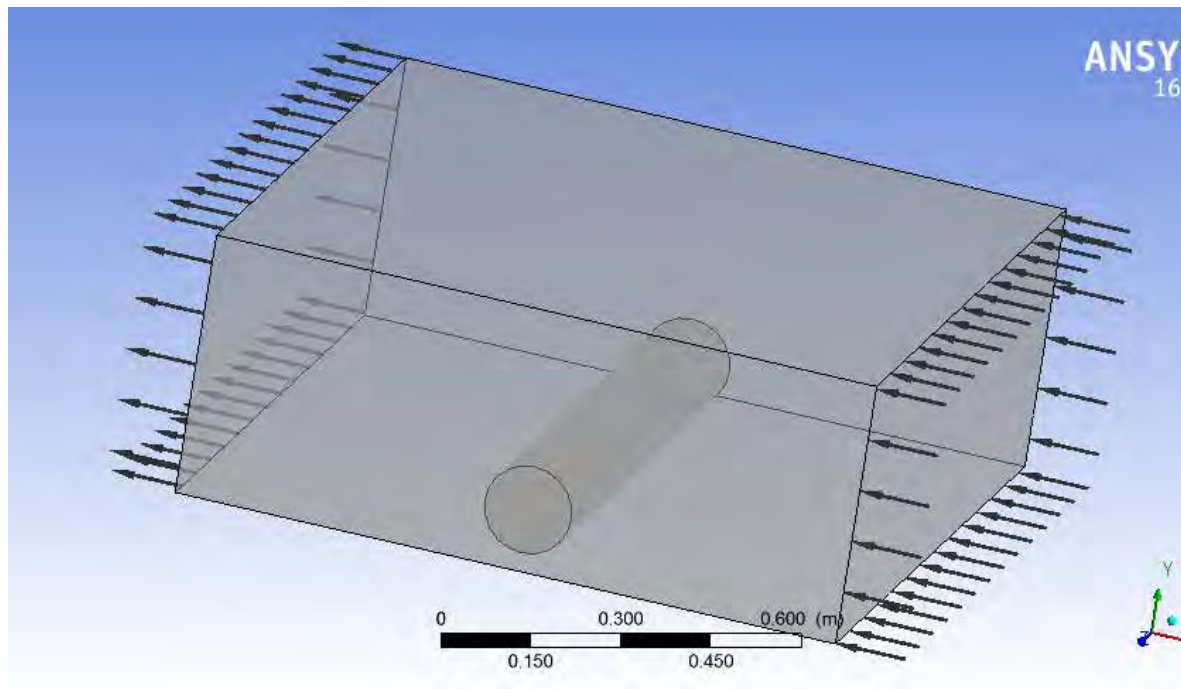
Untuk pengecekan stabilitas lateral hal ini sama juga yaitu menggunakan codes DNV RP F 109 yaitu dengan rumusan sebagai berikut

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{(F_D + F_I) + \mu F_L}{\mu W_S + F_R} \leq 1.00 \quad (4.10)$$

Untuk nilai Safety factor absolute stability yang diketahui pada tabel 2.4 yaitu dengan keadaan *very high clay* dengan nilai sebesar 1,8. Maka didapatkan hasilnya yaitu sebesar **0,2401 < 1**. Hal ini menurut Codes DNV RP F 109 umbilical ini memenuhi persyaratan.

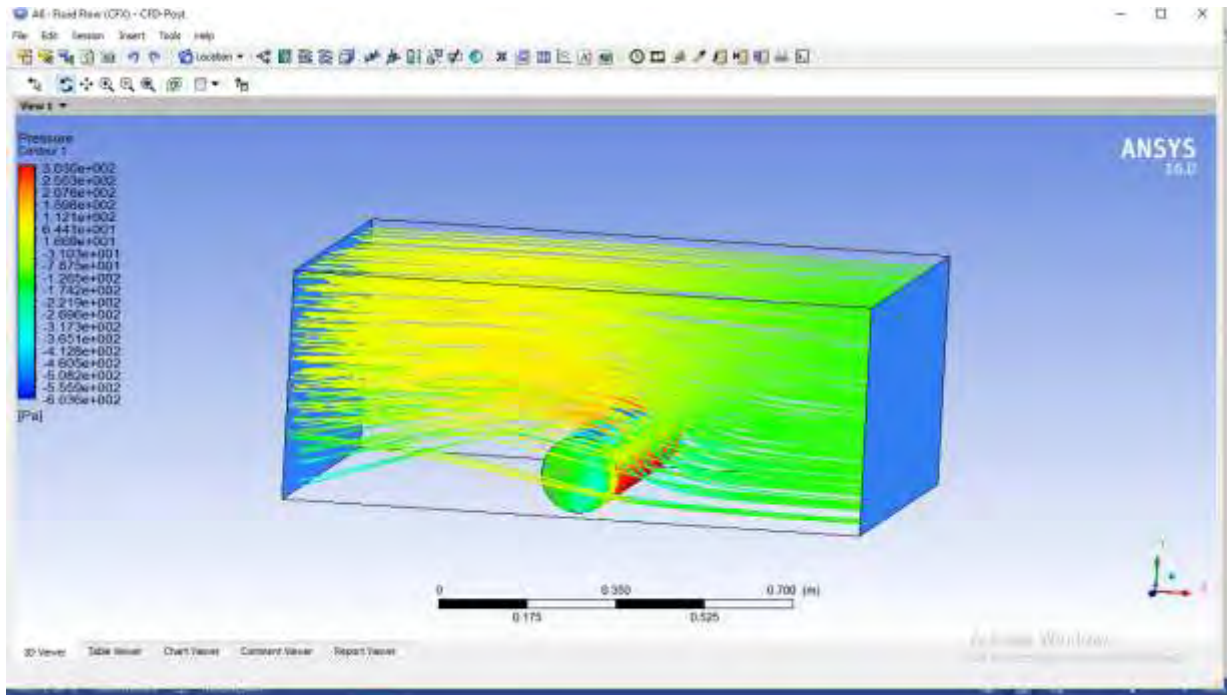
4.8 Pemodelan Umbilical Dengan Menggunakan ANSYS CFD

Pemodelan aliran fluida pada ANSYS CFD ini dilakukan dengan memberikan besar kecepatan arus yang terjadi pada kabel bawah laut (umbilical) dan memodelkan Umbilical dengan diameter yang telah ada. Input diameter pipa yaitu **0,151 m** dan besar kecepatan arus yaitu **0,815 m/s**.



Gambar 4.5 Model Umbilical

Pemodelan pada kasus ini untuk melihat Gaya yang terjadi pada umbilical jika dikenai kecepatan arus. Hasil simulasi ANSYS CFD dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.6 Model Umbilical Dikenai Arus

Dari hasil pemodelan pada ANSYS CFD dapat mengetahui besar gaya yang mengenai umbilical akibat dari kecepatan arus. Hasil dari gaya arah horisontal (F_x) yaitu sebesar **110,223 N** dan hasil dari gaya arah vertikal (F_y) yaitu sebesar **49,349 N**. Setelah masing-masing gaya ditemukan kemudian dilakukan Pengecekan nilai Analisa On Bottom Stability. Setelah hasil ditemukan kemudian dilakukan validasi error terhadap perhitungan manual dari Analisa *On-Bottom Stability*.

4.9 Validasi Syarat Stabilitas ANSYS CFD Dengan DNV RP F 109

Pada ANSYS CFD, akan didapatkan hasil gaya dari Analisa *On-Bottom Stability* Lateral. Kemudian Dengan memasukkan nilai dari gaya arah horisontal (F_x) dan gaya arah vertikal (F_y) terhadap perhitungan *On-Bottom Stability* lateral. Dengan memasukkan kedalam rumus 2.28, maka didapatkan nilai stabilitas lateral yaitu **0,239 < 1**. Berdasarkan codes DNV RP F 109 hasil Analisa dari Software ANSYS CFD memenuhi.

Setelah hasil dari perhitungan Analisa *On-Bottom Stability* ditemukan, kemudian mencari hasil dari nilai error Perhitungan manual dengan Perhitungan Software ANSYS CFD.

Kemudian untuk mencari nilai Error dari perhitungan manual yaitu:

$$\frac{\text{Nilai Awal} - \text{Nilai Akhir}}{\text{Nilai Awal}} \times 100$$

(4.11)

Dengan menghitung dengan menggunakan rumus 4.11 maka, didapatkan nilai error nya yaitu sebesar **0,458**. Pada analisis pemodelan ini, Hasil dari ANSYS CFD sebanding dengan perhitungan manual *On-Bottom Stability*.

LAMPIRAN

**PERHITUNGAN STABILITAS LATERAL
DAN STABILITAS VERTIKAL**

LAMPIRAN

1. Data Umbilical

	Material	Dimension (mm)	
		Thickness	Diameter
1. Conductor	Annealed Copper (300 mm ² Area)	-	20,8
2. Conductor Screen	Carbon Paper	0,26	-
3. Insulation	Paper	10,40	42,1
4. Oil Duct	Galvanized Steel Tape	-	19,0
5. Core Screen		0,36	43,5
6. Filler Impregnant	Kraft Pulp	-	-
7. Binder	Mineral Oil (2,6 cp at 85°C)	-	-
8. Metal Sheath	Copper Woven Fabric Tape	0,30	95,0
9. Bedding Under Reinforcement	Lead Alloy	3,90	102,8
10. Reinforcement	Rubber Coated Fabric Tape	0,25 x 2	103,8
11. Anti Corrosion Sheath			
12. Protective Tape	Stainless Steel Tape	0,25 x 2	104,8
13. Armour Bedding	Extrude PE	4,00	112,8
	Copper Tape	0,10 x 2	113,2
	Rubber Coated Fabric Tape	0,50 x 2	115,2
14. Armour	Galvanized Steel Wire		
15. Outer Covering			
	(6.00 mm diameter)	-	144,0
	Polypropylene Yarn	3,5	151,0
16. Conductor			
17. Insulation			
18. Filler			
19. Binder	Annealed Copper	-	1,8
	Paper Tape	0,70	3,6
	Kraft Pulp	-	7,2
	Paper Tape	0,4	8,1

A. Data Lingkungan

1. Wave Environment

Tabel 4.2

	100-year Extreme Condition
H_{\max} (meter)	9,34
H_{\max} (feet)	30,64
T_p (sec)	14,90

2. Wind Condition

Tabel 4.3

	100-year Extreme Condition		
	(m/s)	(ft/s)	(knots)
$U_{1 \text{ min, 10 m}}$	46,39	152,20	90,06

3. Current Condition

Tabel 4.4

	100-year Extreme Condition		
	(m/s)	(ft/s)	(knots)
MSL	1,03	3,38	2,00
Mid Depth (28,5 m – 93,5 ft)	0,91	2,99	1,77
Mudline	0,49	1,61	0,95

4. Tidal Condition

Tabel 4.5

	100-year Extreme Condition	
	(m)	(ft)
LAT (MSL)	-1,38	-4,53
HAT (MSL)	1,29	4,23
MHWS (MSL)	1,05	3,44
Storm Surge	0,13	0,43

5. Soil

Very Soft Soil, di samakan seperti perairan Gulf of Mexico

2. Massa pembanding Dengan kabel milik perusahaan Total E&P

Parameter	Value
Mass	21,6
Subm Weight	10,6
Out diameter	127

Melakukan perbandingan massa setelah itu hasil massa di kalikan dengan gravitasi. Setelah melakukan perbandingan didapatkan massa nya yaitu sebesar **2468,16234 N/m**.

3. Menghitung bouyancy

$$B = \rho_w \cdot g \cdot \pi \frac{D^2}{4}$$

Dengan rumus di atas di dapatkan bouyancy nya sebesar **179,793 N**

4. Berat terendam

$$\begin{aligned} W_s &= \text{Massa} - \text{bouyancy} \\ &= \mathbf{2.288,36904 \text{ N/m}} \end{aligned}$$

5. Menentukan gelombang, arus dan tanah

Gelombang

1) MENENTUKAN KECEPATAN PARTIKEL GELOMBANG DI DASAR LAUT

Kondisi gelombang dijelaskan menggunakan spektrum JONSWAP

Berikut ini adalah persamaan spektrum JONSWAP:

$$S_{\eta}(\omega) = \alpha \cdot g^2 \cdot \omega^{-5} \cdot \exp\left(-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^4\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0.5\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma \cdot \omega_p}\right)^2\right)}$$

Langkah 1

Menentukan peak enhancement factor (γ)

$$\gamma = \begin{cases} 5.0 & \varphi \leq 3.6 \\ \exp(5.75 - 1.15\varphi) & 3.6 < \varphi < 5.0; \\ 1.0 & \varphi \geq 5.0 \end{cases} \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

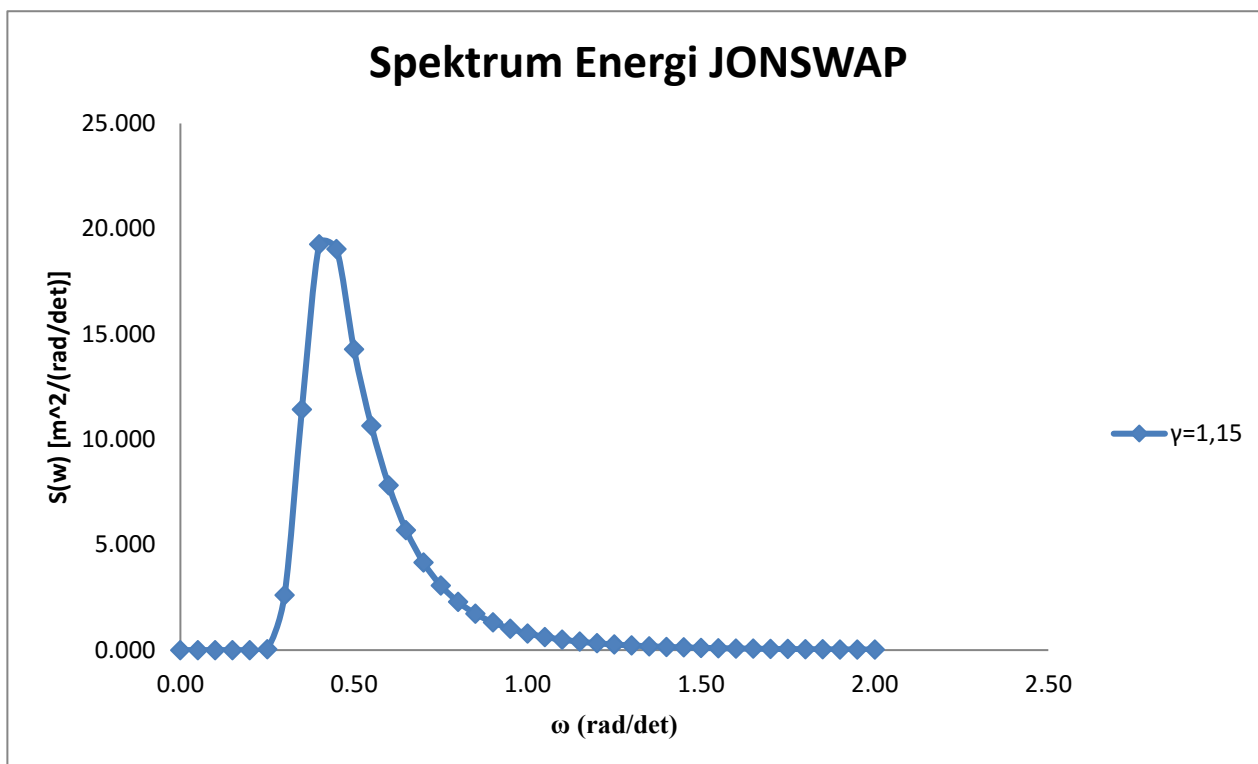
dengan, $T_p = 14,9$ s (Peak Period)
 $H_s = 9,34$ m (Significant Wave Height)

maka,	$\phi = 4,9$								
	$\gamma =$	$\exp(5.75 - 1.15 \cdot 4,9)$							
	$\gamma =$	1,15							
<u>Langkah 2</u>									
Menentukan konstanta generalized philips (α)									
$\alpha = \frac{5}{16} \cdot \frac{H_s^2 \cdot \omega_p^4}{g^2} \cdot (1 - 0.287 \cdot \ln \gamma)$									
dengan,	$H_s = 9,34$	m	(Significant Wave Height)						
	$T_p = 14,9$	s	(Peak Period)						
	$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$	$= \frac{2 \cdot 3.14}{14,9}$	$= 0,421$	rad/s	(Peak Wave Frequency)				
maka,	$\alpha =$	0,01				0,0086			

<u>Langkah 3</u>	
spectral with parameter (σ)	
$\sigma = \begin{cases} 0.07 & \text{if } \omega \leq \omega_p \\ 0.09 & \text{else} \end{cases}$	

Membuat Tabel Spektrum Energi Gelombang JONSWAP

ω	σ	$S(\omega)$	$S(\omega)$	$S(\omega)$
		$\gamma=1,15$	$\gamma=3$	$\gamma=4$
0,00	0,07	0,000	0,000	0,000
0,05	0,07	0,000	0,000	0,000
0,10	0,07	0,000	0,000	0,000
0,15	0,07	0,000	0,000	0,000
0,20	0,07	0,000	0,000	0,000
0,25	0,07	0,035	0,035	0,035
0,30	0,07	2,605	2,606	2,606
0,35	0,07	11,423	12,018	12,203
0,40	0,07	19,260	40,085	49,986
0,45	0,09	19,031	39,102	48,570
0,50	0,09	14,281	15,975	16,524
0,55	0,09	10,656	10,688	10,698
0,60	0,09	7,825	7,825	7,825
0,65	0,09	5,700	5,700	5,700
0,70	0,09	4,165	4,165	4,165
0,75	0,09	3,069	3,069	3,069
0,80	0,09	2,286	2,286	2,286
0,85	0,09	1,724	1,724	1,724
0,90	0,09	1,315	1,315	1,315
0,95	0,09	1,016	1,016	1,016
1,00	0,09	0,793	0,793	0,793
1,05	0,09	0,626	0,626	0,626
1,10	0,09	0,499	0,499	0,499
1,15	0,09	0,401	0,401	0,401
1,20	0,09	0,325	0,325	0,325
1,25	0,09	0,266	0,266	0,266
1,30	0,09	0,219	0,219	0,219
1,35	0,09	0,182	0,182	0,182
1,40	0,09	0,152	0,152	0,152
1,45	0,09	0,128	0,128	0,128
1,50	0,09	0,108	0,108	0,108
1,55	0,09	0,092	0,092	0,092
1,60	0,09	0,078	0,078	0,078
1,65	0,09	0,067	0,067	0,067
1,70	0,09	0,058	0,058	0,058
1,75	0,09	0,050	0,050	0,050
1,80	0,09	0,043	0,043	0,043
1,85	0,09	0,038	0,038	0,038
1,90	0,09	0,033	0,033	0,033
1,95	0,09	0,029	0,029	0,029
2,00	0,09	0,026	0,026	0,026



Langkah 5

Menentukan kecepatan partikel gelombang

$\gamma=2.2$									
w	S(w)	G(w)	G ² (w)	Suu	FS	m ₀	m ₁	m ₂	m ₄
0,00	0,000	0,0000	0,0000	0,0000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,000	0,0321	0,0010	0,0000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,10	0,000	0,0642	0,0041	0,0000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,000	0,0963	0,0093	0,0000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,20	0,000	0,1284	0,0165	0,0000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,035	0,1605	0,0257	0,0009	4	0,004	0,001	0,000	0,000
0,30	2,605	0,1926	0,0371	0,0966	2	0,193	0,058	0,017	0,002
0,35	11,423	0,2247	0,0505	0,5765	4	2,306	0,807	0,282	0,035
0,40	19,260	0,2567	0,0659	1,2695	2	2,539	1,016	0,406	0,065
0,45	19,031	0,2888	0,0834	1,5877	4	6,351	2,858	1,286	0,260
0,50	14,281	0,3209	0,1030	1,4709	2	2,942	1,471	0,735	0,184
0,55	10,656	0,3530	0,1246	1,3279	4	5,312	2,921	1,607	0,486
0,60	7,825	0,3851	0,1483	1,1605	2	2,321	1,393	0,836	0,301
0,65	5,700	0,4172	0,1741	0,9921	4	3,969	2,580	1,677	0,708
0,70	4,165	0,4493	0,2019	0,8407	2	1,681	1,177	0,824	0,404
0,75	3,069	0,4814	0,2317	0,7111	4	2,845	2,133	1,600	0,900
0,80	2,286	0,5135	0,2637	0,6028	2	1,206	0,965	0,772	0,494

0,85	1,724	0,5456	0,2977	0,5131	4	2,052	1,745	1,483	1,071
0,90	1,315	0,5777	0,3337	0,4390	2	0,878	0,790	0,711	0,576
0,95	1,016	0,6098	0,3718	0,3776	4	1,511	1,435	1,363	1,230
1,00	0,793	0,6419	0,4120	0,3267	2	0,653	0,653	0,653	0,653
1,05	0,626	0,6740	0,4542	0,2842	4	1,137	1,194	1,253	1,382
1,10	0,499	0,7060	0,4985	0,2485	2	0,497	0,547	0,601	0,728
1,15	0,401	0,7381	0,5448	0,2185	4	0,874	1,005	1,156	1,528
1,20	0,325	0,7702	0,5933	0,1930	2	0,386	0,463	0,556	0,800
1,25	0,266	0,8023	0,6437	0,1712	4	0,685	0,856	1,070	1,672
1,30	0,219	0,8344	0,6962	0,1526	2	0,305	0,397	0,516	0,871
1,35	0,182	0,8665	0,7508	0,1365	4	0,546	0,737	0,995	1,814
1,40	0,152	0,8986	0,8075	0,1226	2	0,245	0,343	0,481	0,942
1,45	0,128	0,9307	0,8662	0,1105	4	0,442	0,641	0,929	1,954
1,50	0,108	0,9628	0,9270	0,0999	2	0,200	0,300	0,450	1,012
1,55	0,092	0,9949	0,9898	0,0906	4	0,363	0,562	0,871	2,093
1,60	0,078	1,0270	1,0547	0,0825	2	0,165	0,264	0,422	1,081
1,65	0,067	1,0591	1,1216	0,0753	4	0,301	0,497	0,819	2,231
1,70	0,058	1,0912	1,1906	0,0688	2	0,138	0,234	0,398	1,150
1,75	0,050	1,1233	1,2617	0,0631	4	0,253	0,442	0,774	2,369
1,80	0,043	1,1553	1,3348	0,0581	2	0,116	0,209	0,376	1,219
1,85	0,038	1,1874	1,4100	0,0535	4	0,214	0,396	0,732	2,506
1,90	0,033	1,2195	1,4873	0,0494	2	0,099	0,188	0,357	1,288
1,95	0,029	1,2516	1,5666	0,0457	4	0,183	0,357	0,695	2,644
2,00	0,026	1,2837	1,6479	0,0424	1	0,042	0,085	0,170	0,678
Jumlah						43,951	31,717	27,874	37,330

Mo	0,7325				
M1	0,5286				
M2	0,4646				
M4	0,6222				
Us=	1,712	m/s	(Mean Velocity)		
Tu=	7,886	sec	(Mean zero up-crossing period)		
τ =	1370				
ku=	1,976				
U*=	3,383				
Tn=	2,410				
Tn/Tu=	0,306				
kt=	1				
T*=	7,886				

$$k_r = \frac{T^*}{T_u} = \begin{cases} k_t - 5 \cdot (k_t - 1) \cdot T_n / T_u & \text{for } T_n / T_u \leq 0.2 \\ 1 & \text{for } T_n / T_u > 0.2 \end{cases}$$

$$k_t = \begin{cases} 1.25 & \text{for } \gamma = 1.0 \\ 1.21 & \text{for } \gamma = 3.3 \\ 1.17 & \text{for } \gamma = 5.0 \end{cases}$$

Arus

$$V(z) = V(z_r) \cdot \frac{\ln(z + z_0) - \ln z_0}{\ln(z_r + z_0) - \ln z_0} \cdot \sin \theta_c$$

θ	V(m/s)
0	0,000
30	0,408
60	0,706
90	0,815
120	0,706
150	0,408
180	0,000

Tanah

$$\frac{F_R}{F_C} = \frac{4.1 \cdot \kappa_c}{G_c^{0.39}} \cdot \left(\frac{z_p}{D} \right)^{1.31}$$

$$G_c = \frac{s_u}{D \cdot \gamma_s} \quad \text{and} \quad \kappa_c = \frac{s_u \cdot D}{w_s - F_z} = \frac{s_u \cdot D}{F_C}$$

Cable Weight=	2470,69849	N/m
Cable Bouyancy=	179,79330	N/m
Cable Sub. Weight=	2290,90519	N/m
Load Reduction		
Kc=	0,428433	
Gc=	2,391464	
zpi=	0,057652	
rpen,y=	0,46548	
rpen,z=	0,63366	
rperm,z=	0,7	
rtot,y=	0,46548	
rtot,z=	0,443562	
Passive Resistance		
FR=	733,7926	

6. Menentukan F_D F_i F_l F_w

Re	C_D	C_L	C_M
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.2	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$5.0 \times 10^5 < Re$	0.7	0.7	1.5

pertama menghitung nilai dari Re(reynold number), Kemudian Didapat Re sebesar **102.076** yaitu $1 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D \cdot C_D \cdot |(U_s \cdot \cos \theta + U_c)(U_s \cdot \cos \theta + U_c)|$$

$$F_l = (\pi \cdot D^2)/4 \cdot \rho_w \cdot C_M \cdot A_s \cdot \sin \theta$$

$$A_s = \frac{(2\pi \cdot U_s)}{T_u}$$

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot D \cdot C_L \cdot (U_s \cdot \cos \theta + U_c)^2$$

Dengan menggunakan rumus di atas didapatkan nilai F_D F_I F_L dengan tabel berikut

F_D	60,5874
F_I	50,016
F_L	50,72079

7. Menghitung nilai keulegan carpenter dan Steady to Oscilatory vellocity ratio

$$K = \frac{U_s \cdot Tu}{D}$$

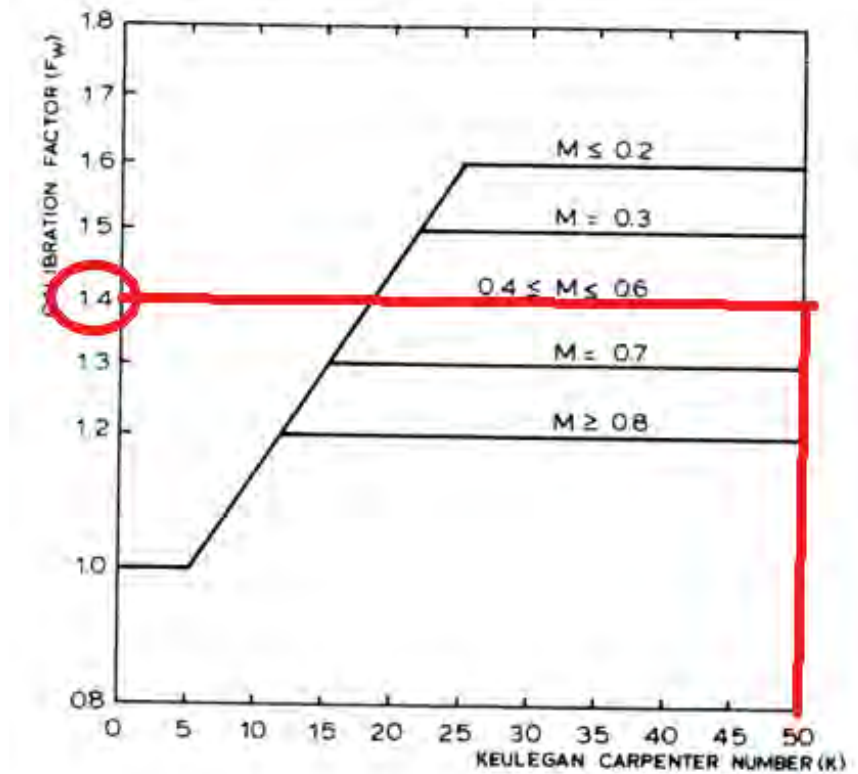
$$U_s = 2\sqrt{M_0} ; Tu = 2\pi \sqrt{\frac{M_0}{M_2}} ; D = Diameter$$

Dengan menggunakan rumus di atas di dapat nilai $K=89,394$

$$M = \frac{V}{U_s}$$

Kemudian untuk nilai steady oscilatory sebesar **0,47**

8. Mencari nilai Fw atau Faktor Kalibrasi



Setelah nilai K dan M di ketahui kemudia dari gambar di bawah ini dapat di ketahui nilai dari Fw

Nilai Fw sebesar 1,4

9. Menentukan Berat Terendam Pipa Minimal

$$W_{s_req} = \left[\frac{(F_D + F_I) + \mu \cdot F_L}{\mu} \right] \cdot F_w$$

Dengan menggunakan rumus diatas, maka didapatkan nilai terendam minimum Umbilical yaitu sebesar **845,233 N/m**.

10. Stabilitas Lateral Dan Stabilitas Vertikal

Stabilitas Vertikal

$$\gamma_w \cdot \frac{b}{w_s + b} = \frac{\gamma_w}{s_g} \leq 1.00$$

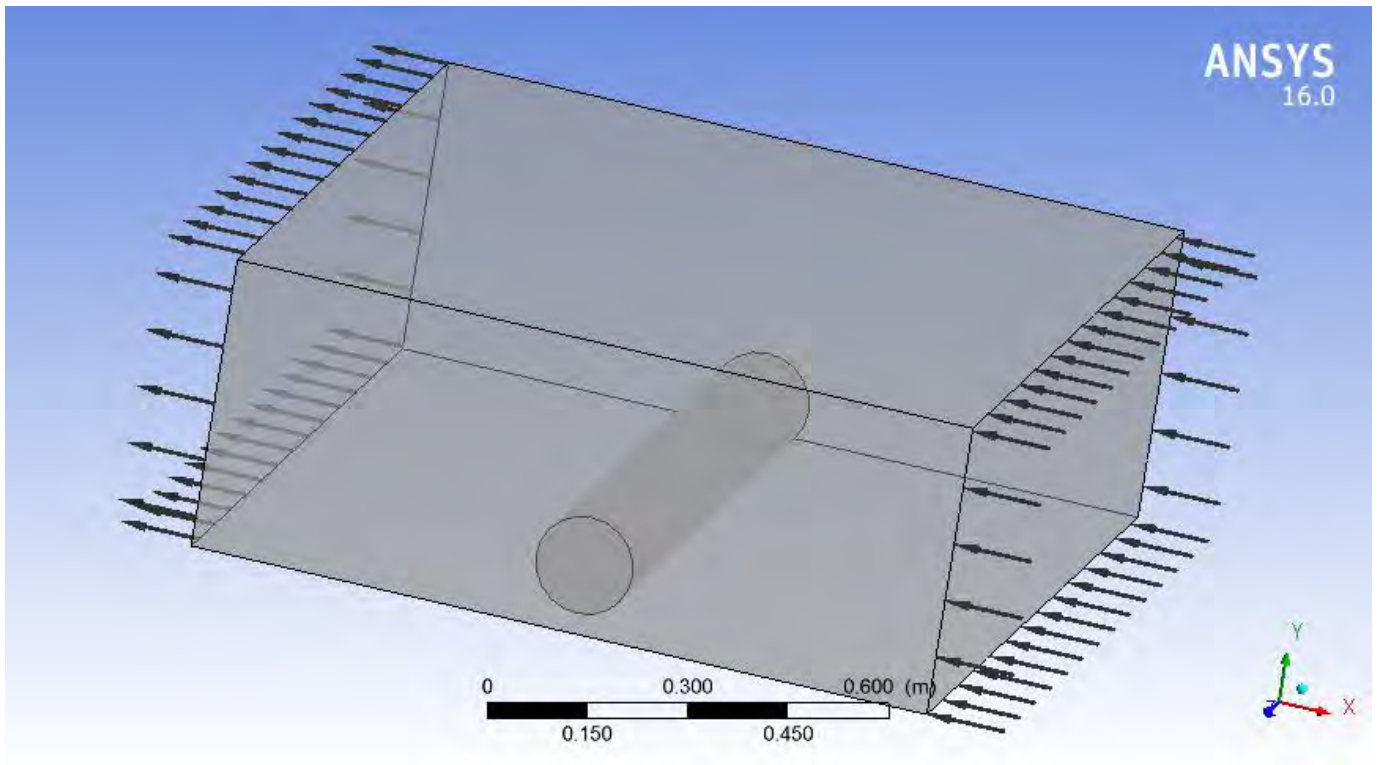
Dengan nilai safety factor sebesar 1,1 maka hasil dari analisa menunjukkan bahwa **0,17 < 1**. Maka menurut Codes umbilical ini dikatakan memenuhi codes dikarenakan hasil kurang dari 1.

Stabilitas Lateral

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{(F_D + F_I) + \mu F_L}{\mu W_S + F_R} \leq 1.00$$

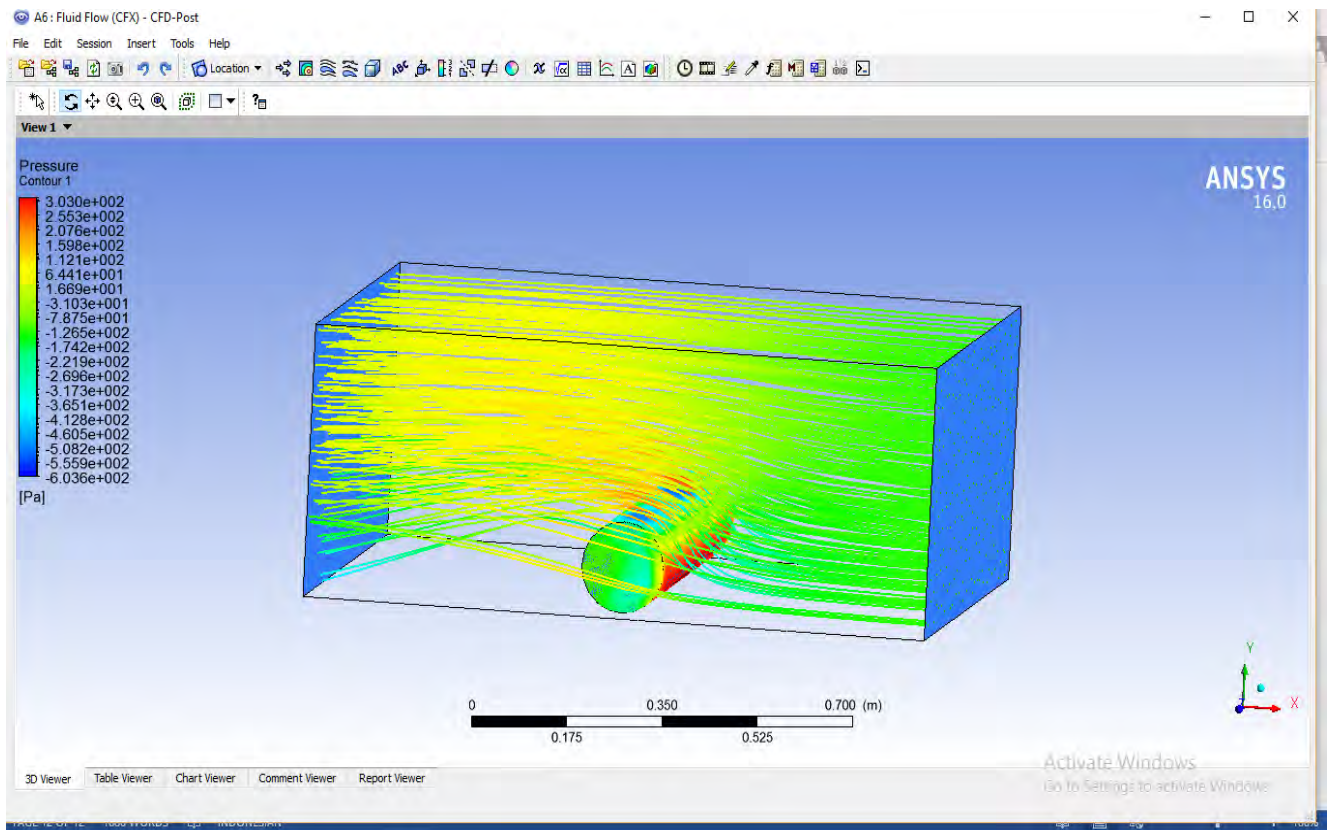
Untuk nilai Safety factor absolute stability yang diketahui pada tabel 2.4 yaitu dengan keadaan *very high clay* dengan nilai sebesar 1,8. Maka didapatkan hasilnya yaitu sebesar **0,2401 < 1**. Hal ini menurut Codes DNV RP F 109 umbilical ini memenuhi persyaratan.

11. Pemodelan Ansys



Pemodelan aliran fluida pada ANSYS CFD ini dilakukan dengan memberikan besar kecepatan arus yang terjadi pada kabel bawah laut (umbilical) dan memodelkan Umbilical dengan diameter yang telah ada. Input diameter pipa yaitu **0,151 m** dan besar kecepatan arus yaitu **0,815 m/s**

Pemodelan pada kasus ini untuk melihat Gaya yang terjadi pada umbilical jika dikenai kecepatan arus. Hasil simulasi ANSYS CFD dapat dilihat pada gambar berikut:



Dari hasil pemodelan pada ANSYS CFD dapat mengetahui besar gaya yang mengenai umbilical akibat dari kecepatan arus. Hasil dari gaya arah horizontal (F_x) yaitu sebesar **110,223 N** dan hasil dari gaya arah vertikal (F_y) yaitu sebesar **49,349 N**.

12. Validasi Nilai Error Stabilitas Vertikal Ansys Dengan Manual

Pada ANSYS CFD, akan didapatkan hasil gaya dari Analisa *On-Bottom Stability* Lateral. Kemudian Dengan memasukkan nilai dari gaya arah horizontal (F_x) dan gaya arah vertikal (F_y) terhadap perhitungan *On-Bottom Stability* lateral. Dengan memasukkan kedalam rumus

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{(F_D + F_I) + \mu F_L}{\mu W_S + F_R} \leq 1.00$$

maka didapatkan nilai stabilitas lateral yaitu **0,239 < 1**. Berdasarkan codes DNV RP F 109 hasil Analisa dari Software ANSYS CFD memenuhi.

Berikut rumusan dari error

$$\frac{\text{Nilai Awal} - \text{Nilai Akhir}}{\text{Nilai Awal}} \times 100$$

Dengan memasukkan rumus di atas di dapatkan nilai error sebesar **0,458**.

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan, simulasi dan analisa data maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Kebutuhan akan Beban dalam Analisis ini yang di dapatkan menurut Codes DNV RP F 109 agar kabel bawah laut di katakan stabil yaitu sebesar **845,233 N/m**.
2. Besar gaya-gaya luar yang bekerja pada kabel bawah laut, maka nilai dari gaya eksternal yang terjadi pada Kabel Bawah Laut yaitu berupa Drag Force (F_D) yaitu sebesar **60,5874**, Inertia Force (F_I) **50,016** sebesar dan Lift Force (F_L) yaitu sebesar **50,72079**.
3. Dengan Analisa *On-Bottom Stability* yaitu terbagi menjadi 2 analisa yaitu Analisa stabilitas vertikal dengan nilai sebesar **0,17** dan Analisa Stabilitas Lateral yaitu sebesar **0,2401**. Hal ini dikatakan memenuhi perhitungan menurut Codes DNV RP F 109. Dengan masing-masing nilai menunjukkan hasil dari perhitungan yaitu kurang dari 1.

5.2 Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, terdapat beberapa kekurangan di dalamnya, sehingga dapat menjadi penelitian lanjutan kedepannya. Adapun saran yang dapat diberikan sebagai masukan dalam penelitian *lanjutan* kedepannya antara lain:

1. Untuk saran penelitian selanjutnya yaitu setelah didapatkan nilai dari stabilitas, kemudian dapat di lanjutkan penelitian ini salah satunya yaitu menjurus ke Analisa buckling terhadap kontur tanah yang

terjadi pada arean ini. Karena dalam analisa ini kontur tanah di misalkan tidak dalam keadaan freespan.

2. Untuk pemodelan pada kabel bawah laut ini (umbilical) dapat menggunakan **3d Flow** supaya dapat mengetahui hasil pergerakan kabel ini jika dikenai arus dengan beban yang telah diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- A. J. Fyfe, D. Myrhaug and K. Reed: *Forces on Seabed Pipelines: Large-Scale Laboratory Experiments*, OTC 5369, Houston, Texas, 1987.
- Allen, D.W., Lammert, W.F., Hale, J.R, dan Jacobsen V. 1989.
Submarine pipeline on-bottom stability: recent AGA research.
Proceeding, **The 10th Offshore Technical Conference**, paper 6055
- Bai, Y., Bai, Q. 2005. *Subsea Pipelines and Risers*. Elsevier Science, USA.
- Brennenden, H., Sveinsson, O., Wagner, D.A., dan Murff, J.D. 1986. Full-scale pipe-soil interaction tests, Proceeding, **Offshore Technology Conference**, OTC 5338, 433-440.
- Browne-Cooper, E. (1997), “*The Vertical and Horizontal Stability of a Pipeline in Calcareous Sand*”, Honours Thesis, the University of Western Australia.
- Det Norske Veritas. 1988. **DNV RP E305, On-bottom Stability design of Submarine Pipelines**. Norway.
- Det Norske Veritas. 2007. **DNV RP F109, On-bottom Stability design of Submarine Pipelines**. Norway.
- Guo, B., Song, S., Chacko, J., dan Ghalambor, A. 2005. **Offshore Pipelines**. Gulf Professional Publishing, Burlington, USA.
- Mouselli, A. H. 1981. **Offshore Pipeline Design, Analysis and Methods**. PenWell Books : Oklahoma
- R. L. P. Verley and K. M. Lund: *A Soil Resistance Model for Pipelines Placed on Clay Soils*, OMAE – Volume 5, 1995.
- Thomas, Worzyk: *Submarine Power Cables Design, Installation, Repair Environmental Aspects*, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG, 2009.
- Tian, Y., Youssef, B., Cassidy, M.J., Chang, C.K. 2015. Assessment of Offshore Pipeline Using Dynamic Lateral Stability Analysis. **Applied Ocean Research**. 50: 47-5.
- V. Jacobsen, M. B. Bryndum and D. T. Tshalis: *Hydrodynamic Forces on Pipelines: Model Tests*, OMAE, Houston, Texas, 1988.

BIODATA PENULIS



Ridwan Abdullah Bahanan, merupakan anak terakhir dari dua bersaudara dari pasangan Abdullah Bahanan dan Hanifah S.E, dilahirkan pada tanggal 14 September 1994 di Kediri. Penulis menyelesaikan pendidikan formal pertamanya pada jenjang pendidikan dasar di SDN Pekuncen Pasuruan pada tahun 2006 dan melanjutkan jenjang pendidikan di SMP Negeri 2 Pasuruan hingga tahun 2009, serta menyelesaikan

jenjang Pendidikan Menengahnya di SMA Negeri 04 Pasuruan pada tahun 2012. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan jenjang perkuliahan di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis cukup aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan dan kepanitiaan. Dalam bidang organisasi kemahasiswaan, penulis pernah menjadi Kepala Divisi Fundraising KWU Mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan pada tahun 2014/2015. Penulis dapat dihubungi melalui ridwanabdullahbahanan@gmail.com.